



Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua

Memòria Final 2011



CX CatalunyaCaixa
Obra Social





Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua

© Textos: autors

© Foto de coberta: Jaime Coello i Javier Losarcos

Disseny i maquetació: 2Salamandras

Índex de la memòria

07.	Presentació
09.	1. Introducció
11.	1.1. Antecedents i contextualització
11.	1.1.1. El canvi climàtic: últim informe del IPCC
12.	1.1.2. Programes internacionals d'adaptació i mitigació del canvi climàtic
12.	1.1.3. Estratègies d'adaptació i enfocament de la problemàtica a nivell europeu
13.	1.1.4. Estratègies d'adaptació i enfocament de la problemàtica a nivell estatal
14.	1.2. Catalunya davant el canvi climàtic
14.	1.2.1. Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya
15.	1.2.2. L'aigua a Catalunya i les seves perspectives
15.	1.2.3. Conques hidrogràfiques pilot
16.	1.2.3.1. Fluvià
16.	1.2.3.2. Tordera
17.	1.2.3.3. Siurana
17.	2. Com són les conques?
17.	2.1. Com és el clima?
20.	2.1.1. Dades disponibles
22.	2.1.2. Temperatura
24.	2.1.3. Precipitació
30.	2.1.4. Sèries climàtiques contínues
32.	2.1.5. Evapotranspiració potencial
33.	2.1.6. Evapotranspiració real
34.	2.1.7. Índex de sequera meteorològic
35.	2.2. Com és el territori?
35.	2.2.1. Les cobertes del sòl: situació actual i canvis recents
35.	2.2.1.1. Cartografia europea: Corine Land Cover
39.	2.2.1.2. Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya
45.	2.2.1.3. Canvis recents i tendències dels usos del sòl
47.	2.2.2. Planejament territorial
49.	2.2.2.1. Plans territorials parcials a les conques
51.	2.2.3. Estimació dels usos de l'aigua actuals
53.	2.3. Com són els sòls?
53.	2.3.1. Disponibilitat de dades
53.	2.3.2. Aproximació a l'estimació de propietats hídriques del sòl
54.	2.4. Com són les masses d'aigua?
54.	2.4.1. Masses d'aigua superficial
54.	2.4.1.1. Estacions d'aforament disponibles
55.	2.4.1.2. Models de simulació hidrològica
67.	2.4.2. Hidrologia subterrània
68.	2.4.2.1. Estimació de la recàrrega
69.	2.4.2.2. Avaluació de la recàrrega, aplicació del codi Visual Balan
70.	2.4.2.3. Definició del model de recàrrega distribuïda
70.	2.4.2.4. Model de flux. Recàrrega de l'aquífer a la Tordera

71.	2.4.2.5. Resultats obtinguts
76.	2.5. Com són els boscos ?
76.	2.5.1. Inventari de les masses forestals
77.	2.5.2. El paper dels boscos en el balanç hídric de la conca
78.	2.5.3. Idoneïtat climàtica de les principals espècies forestals
79.	2.5.4. Funcionament actual dels boscos
84.	2.5.4.1. Simulacions de GOTILWA+ per al període referència
86.	2.5.5. Risc d'incendi de les masses forestals
86.	2.6. Com són els conreus?
86.	2.6.1. Introducció
87.	2.6.2. Aspectes productius
87.	2.6.3. Aspectes ambientals
89.	2.6.4. Aspectes estètics
89.	2.6.5. Distribució actuals de conreus
91.	2.6.6. Casos d'estudi
91.	2.6.6.1. Influència del clima en la producció d'olives de Cabacés
93.	3. Com seran les conques?
93.	3.1. Com serà el clima?
94.	3.1.1. Models de circulació general
94.	3.1.2. Definició d'escenaris climàtics: B1 i A2
96.	3.1.3. Generació de sèries climàtiques
96.	3.1.3.1. Regionalització dinàmica
96.	3.1.3.2. Regionalització estadística
99.	3.1.4. Anàlisi de les sèries climàtiques:
99.	3.1.4.1. Regionalització dinàmica del SMC
103.	3.1.4.2. Regionalització estadística de la UPC
104.	3.2. Com serà el territori?
104.	3.2.1. Escenaris socioeconòmics globals
105.	3.2.2. Definició d'escenaris socioeconòmics: sostenible i tendencial
107.	3.2.3. Generació de mapes d'usos de sòl futurs (metodologia)
111.	3.2.4. Anàlisi de mapes futurs d'usos de sòl
113.	3.2.5. Estimació de creixement poblacional
114.	3.2.6. Estimació de les demandes futures d'aigua
116.	3.3. Els quatre escenaris possibles de canvi global al 2030
116.	3.4. Com seran les masses d'aigua?
116.	3.4.1. Aigües superficials
116.	3.4.1.1. Resultats d'HEC-HMS 3.4 amb projeccions climàtiques de l'UPC
124.	3.4.1.2. Resultats de SWAT amb projeccions climàtiques del SMC
130.	3.4.1.1. Comparació entre els models hidrològics
130.	3.4.2. Aigües subterrànies
130.	3.4.2.1. Canvis en la recàrrega subterrània

135.	3.5. Com seran els boscos?
135.	3.5.1. Idoneïtat climàtica futura de les principals espècies forestals
137.	3.5.2. Estat futur dels boscos
139.	3.5.3. Efectes de la gestió de boscos en el cicle hidrològic
141.	3.5.4. Risc d'incendi futur
142.	3.6. Com seran els conreus?
143.	4. Vulnerabilitats i mesures d'adaptació
143.	4.1. Vulnerabilitats
145.	4.2. Fitxes de vulnerabilitats i mesures d'adaptació
172.	5. Referències
177.	6. Agraïments i contactes
181.	7. Annexos
181.	7.1. Informe "El clima observat de les conques del Fluvià, de la Tordera i del Siurana(1951-2000)".
197.	7.2. Comunicació per la 2011 International SWAT Conference: "Climate change impacts on water availability in three Mediterranean basins of Catalonia (NE Spain)
206.	7.3. Masses d'aigua subterrània a l'àmbit estudiat
207.	7.4. Resultats recàrrega simulacions.
208.	7.5. Altres escenaris.
211.	7.6. Equacions principals utilitzades en els fluxos d'aigua al sòl a GOTILWA+
212.	7.7. Informe: "La influència del clima en la producció d'olives a Cabacés"

Presentació

El canvi climàtic és un repte indefugible de la nostra societat a principis del s. XXI. És per això que l'any 2007 l'Obra Social de CatalunyaCaixa va decidir recolzar el projecte ACCUA, plantejat per l'equip del Dr. Jaume Terradas i del CREAF, dins la línia de treball sobre canvi climàtic que l'Obra Social ha anat desenvolupant, basada sobretot, en la conscienciació ciutadana sobre aquesta problemàtica d'abast mundial.

Dins d'aquesta línia s'han dut a terme iniciatives similars com ara l'exposició 'Canvi Climàtic. Preguntes i Respostes' que va itinerar per tota la geografia espanyola des de l'any 2008 fins el 2010, l'organització de jornades sobre Canvi Climàtic a CX La Pedrera els anys 2009 i 2010, amb l'objectiu d'informar i d'obrir debat o altres projectes d'educació ambiental com ara un Concurs de contes il·lustrats sobre el Canvi Climàtic per a escoles.

Amb l'afany de millorar la gestió de les prop de 8.000 hectàrees propietat de l'Obra Social, s'ha realitzat també un estudi sobre l'estimació de la capacitat de fixació de carboni dels boscos i sòls de les seves finques, obtenint dades que demostren la funció d'aquests espais com a reservoris de carboni. Així doncs, sabem que aquests espais acumulen anualment 16.522 Tones equivalents de CO₂ i que el total acumulat entre boscos i sòls és de més de 176.000 Tones equivalents de CO₂. Unes dades que posen encara més en valor el patrimoni natural de l'entitat i la nostra responsabilitat envers la Societat i els territoris on es troben aquests espais naturals CX Natura.

1. Introducció

El projecte ACCUA (Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua www.creaf.uab.cat/accua) ha avaluat la vulnerabilitat territorial al canvi global en tres conques representatives de la franja litoral catalana: el Fluvià, la Tordera i el Siurana. D'acord a les vulnerabilitats identificades, el projecte ha inclòs un seguit de propostes d'actuació per adaptar aquests sistemes als impactes del canvi global i minimitzar-ne els seus efectes negatius. Les mesures d'adaptació van adreçades als gestors dels territoris i dels recursos naturals, des de l'administració implicada a nivell regional i local fins a cooperatives agrícoles i propietaris forestals.

El canvi global és la suma dels efectes del canvi climàtic i les implicacions derivades dels canvis d'usos del sòl. Així, el projecte s'ha centrat en aquests canvis fent un especial èmfasi en les repercussions que tindran sobre la disponibilitat d'aigua.

La disminució de la disponibilitat d'aigua en el futur serà rellevant, com s'espera en la major part de la Conca Mediterrània, però amb sensibilitats diferencials en cadascuna de les àrees d'estudi i en els diferents àmbits estudiats (masses d'aigua, boscos, agricultura, usos urbans, etc).

Així, a les conques més humides, especialment a les seves capçaleres, és on es detecten els efectes més importants. A la conca del Siurana, les pressions climàtiques poden veure's amplificades especialment pels canvis d'usos del sòl. Els boscos són l'àmbit que es presenta potencialment més vulnerable, ja sigui per l'augment de l'estrès hídric, pels canvis en la idoneïtat bioclimàtica de les espècies o pel creixent risc d'incendi. L'agricultura es pot veure afectada si no s'adapten els conreus a les noves necessitats, sobretot en aspectes relacionats amb la fenologia i l'eficiència en l'ús de l'aigua. En general, els resultats apunten cap a canvis graduals a curt termini (10-15 anys vinents) que s'acceleraran a mig-llarg termini, tot i l'elevada incertesa en la irrupció d'eventuals episodis extrems que poden interferir aquestes tendències. En aquesta finestra temporal és on s'han de prioritzar les mesures d'adaptació proposades. Impulsar-les avui pot ajudar a esmorteir els efectes adversos del canvi.

El projecte de tres anys de durada (2008-2011) ha comptat amb el finançament de l'Obra Social de CatalunyaCaixa i amb la participació de quatre grups de recerca coordinats pel CREA.



CREAF Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals

Investigadors principals: Javier Retana i Jaume Terradas

<http://www.creaf.uab.cat>

Altres investigadors implicats: Carles A. Gracia i Santi Sabaté



GHS/UPC Grup d'Hidrologia Subterrània de la Universitat Politècnica de Catalunya

Investigadora principal: Lucila Candela

<http://www.h2ogeo.upc.es/>

Altres investigadors implicats: Karim Tamoh, Gonzalo Olivares i Manuel Gómez



ETC/LUSI (EEA) European Topic Centre / Land Use and Spatial Information.

European Environment Agency

Investigadors principals: Roger Milego i Jaume Fons

<http://terrestrial.eionet.europa.eu/>

Altres investigadors implicats: Ana L. Barbosa



IRTA Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries

Investigador principal: Robert Savé

<http://www.irta.cat>

Altres investigadors implicats: Carme Biel, Felicidad de Herralde i Xavier Aranda



Coordinació tècnica del projecte

Eduard Pla, Joan Albert López-Bustins i Diana Pascual

Tècnic manteniment web: Javier Losarcos

Tècnica digitalització dades: Montse Marquès

Assessorament extern

Andreu Manzano (Agència Catalana de l'Aigua)

Montserrat Nadal (Universitat Rovira i Virgili)

Pep Canadell (Global Carbon Project)

1.1. Antecedents i contextualització

*Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.
Javier Retana, Jaume Terradas. CREA*

1.1.1. El canvi climàtic: últim informe del IPCC

La conca mediterrània pot esdevenir una de les zones del Planeta més vulnerables al canvi climàtic. Així ho apunten els estudis científics internacionals que prediuen augments rellevants de temperatura i descensos de precipitació en aquesta àrea al llarg del segle XXI. Quines implicacions sobre el territori pot tenir un futur més àrid? Quina serà la resposta dels ecosistemes naturals, agrícoles i urbans? Com condiciona el model d'ocupació del territori la pressió sobre recursos com l'aigua? Mirar de donar resposta a aquestes qüestions és l'objectiu principal del projecte Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua (ACCUA), que ha identificat les

vulnerabilitats enfront del canvi global de tres conques de rius mediterranis i treballa per oferir-hi propostes d'adaptació.

Hi ha força consens científic a l'hora de predir que l'àrea mediterrània serà una de les zones del món més afectada pel canvi climàtic. Tots els models més recents coincideixen a apuntar que el clima, en aquesta regió, esdevindrà al llarg d'aquest segle més càlid que l'actual i més sec (Figura 1). Pel fet de ser una zona de transició biogeogràfica, la Mediterrània és, a més, un dels biomes més sensibles als canvis en els patrons i règims climatològics.

En general, les prediccions d'aquí a finals de segle per a la Mediterrània apunten cap a un increment de la temperatura mitjana anual superior al de la resta del món, i amb un augment superior a l'estiu. Alhora, també es preveu un descens generalitzat de les precipitacions anuals, especialment a l'estiu, de manera que hi haurà menys dies de pluja i períodes més llargs sense precipitacions.

Atenent les prediccions dels models climàtics, s'espera una disminució de la quantitat de l'aigua

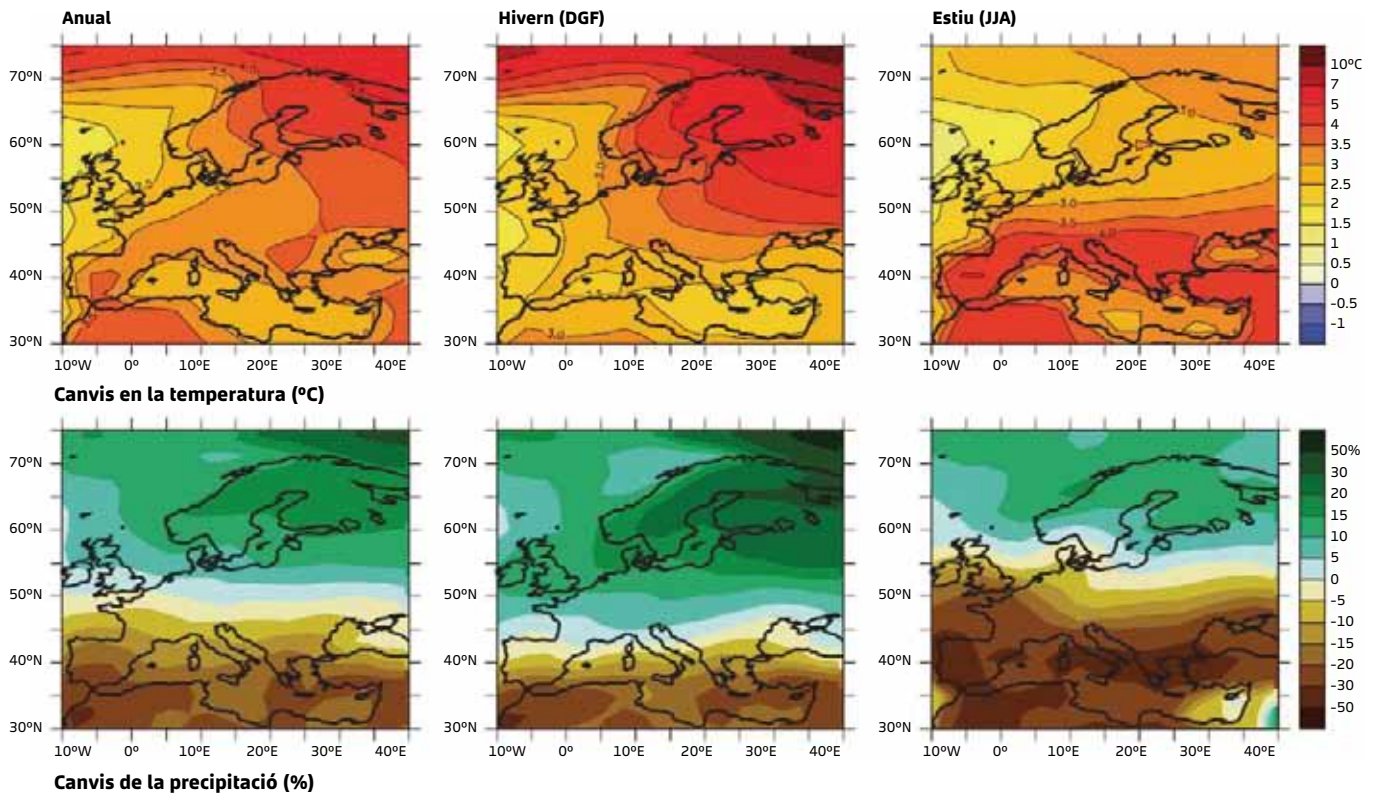


Figura 1. Canvis en la temperatura (a dalt) i de la precipitació (a baix) a Europa a partir de les simulacions de 21 models globals, per a l'escenari A1B. S'hi mostren les diferències entre el període 2080-2099 i 1980-1999. D'esquerra a dreta, per la mitjana anual, la d'hivern i la d'estiu. Font: IPCC Christensen et al. 2007.

disponible en rius i aqüífers (Figura 2), amb un impacte evident sobre els diferents processos ecològics i les activitats humanes.

Els canvis previstos tindran més o menys severitat en funció de l'evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Tot i que deixéssim d'emetre aquests gasos avui, el clima continuaria canviant durant unes quantes dècades. A la Mediterrània, els impactes esperats poden tenir, a petita escala (regional i local), una magnitud i significació diversa, ja que es tracta d'una regió amb una elevada variabilitat temporal i espacial de les condicions ambientals. En aquest sentit, l'anàlisi de la resposta territorial als canvis previstos requereix d'una escala de treball amb prou detall per entendre aquesta variabilitat d'impactes i la integració dels processos socioeconòmics que hi interaccionen.

1.1.2. Programes internacionals d'adaptació i mitigació del canvi climàtic

El **Conveni Marc de les Nacions Unides sobre Canvi Climàtic** (UNFCCC), aprovat al 1992, té per objectiu l'estabilització de les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera a un nivell que eviti interferències antropogèniques perilloses en el sistema climàtic. El conveni marca que aquest nivell s'hauria d'aconseguir dins un termini suficient perquè els ecosistemes s'adaptin naturalment al canvi climàtic, per assegurar que la producció d'aliments no en quedi amenaçada i per permetre que el desenvolupament econòmic continuï de manera sostenible.

Enllaç: <http://unfccc.int/2860.php>

El **Pla d'Acció per al Mediterrani** (1975, PAM) del Programa de les Nacions Unides per al Medi Ambient (PNUMA) va sorgir per recolzar als països mediterranis en l'avaluació i control de la contaminació marina, en la formulació de polítiques ambientals nacionals i en la capacitat per identificar opcions pel desenvolupament sostenible. Encara que aquest Pla estava molt focalitzat en aspectes de contaminació marina, l'any 1995 es va aprovar la segona fase del PAM (**Pla d'Acció per la Protecció del Medi Marino i**

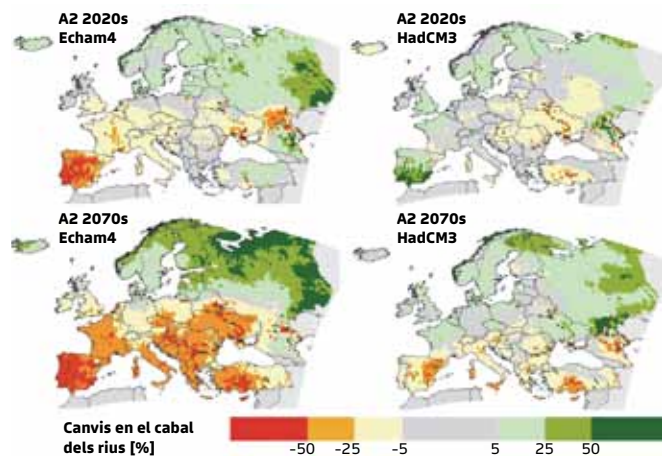


Figura 2. Canvi en l'escolament superficial dels rius entre el període de referència 1961-1990 i dos períodes futurs (2020 i 2070) per a l'escenari A2 (IPCC Alcamo et al. 2007).

el Desenvolupament Sostenible de les zones costeres del Mediterrani). Aquest pla conjumina esforços per la protecció del mar, zones costaneres i d'interior davant la degradació ambiental i per la vinculació de la gestió sostenible dels recursos en el desenvolupament, amb la finalitat de protegir i millorar la regió mediterrània.

Enllaç: <http://www.unepmap.org/index.php?module=content2&catid=001001002>

L'Estratègia Mediterrània per al Desenvolupament Sostenible (2005, MSSD) estableix un marc polític per garantir a llarg termini el desenvolupament sostenible, la cohesió social i la protecció del medi ambient. El seu objectiu va ser determinar i elaborar mesures que ajudessin a millorar la qualitat de vida mitjançant el desenvolupament sostenible. Un dels grans reptes proposats per l'estratègia va ser limitar el canvi climàtic, els seus costos i efectes negatius per la societat i el medi ambient.

Enllaç: <http://www.unepmap.org/index.php?module=content2&catid=001017002001>

1.1.3. Estratègies d'adaptació i enfocament de la problemàtica a nivell europeu

La Directiva marc de l'aigua (DMA) és l'instrument d'aplicació obligada als estats membres de la Unió

Europea que reflecteix la nova manera de gestionar l'aigua. Es basa en els principis de la «nova cultura de l'aigua», segons la qual l'aigua deixa de ser considerada únicament com un recurs i passa a considerar-se un patrimoni natural imprescindible que cal preservar pels seus valors ecològics i socials. L'objectiu principal no només se centra a satisfer la demanda creixent (usos i explotació), sinó també a equilibrar els diferents usos i arribar a un bon estat i manteniment de les masses d'aigua. La DMA va entrar en vigor el desembre de 2000 i fixa per l'any 2015 una sèrie d'objectius o treballs que han de ser acomplerts pels estats membres que inclou la delimitació de les demarcacions hidrogràfiques, la seva caracterització i anàlisi de l'estat actual, la definició d'un pla de gestió amb un pla de mesures i de seguiment complementaris i l'execució de les actuacions necessàries per assolir el bon estat de les masses d'aigua. Amb aquestes premisses, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), com ens responsable de l'aplicació de la Directiva Marc, va finalitzar recentment el Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya, el Programa de mesures i les propostes de gestió i mesures al Pla de demarcació de l'Ebre.

Enllaç:http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

El Programa Europeu sobre Canvi Climàtic (ECCP) explora opcions per millorar la resiliència del territori al canvi climàtic i fomentar la integració d'adaptacions al canvi climàtic en altres plans i programes tant a nivell europeu com nacional i regional. El primer programa (ECCP II) es va signar l'any 2000 a fi de reduir les emissions de gasos en el període 2008-2012 en un 8%. L'any 2006 es va aprovar el segon programa que donava continuïtat a l'anterior per assolir reduccions d'emissions més significatives després del 2012. Enllaç:http://ec.europa.eu/clima/policies/eccp/index_en.htm

El Llibre Verd d'adaptació al canvi climàtic a Europa (2007) és el primer document europeu que incorpora mesures d'adaptació als impactes del canvi climàtic i es basa en els resultats de l'ECCP. Aquest llibre conté mesures i idees per combatre el canvi climàtic en un marc de discussió pública i de debat. Enllaç:http://www.eph.org/IMG/pdf/Green_paper_on_climate_change.pdf

Posteriorment s'aprova el **Llibre Blanc d'adaptació al canvi climàtic a Europa (2009)**, que conté propostes d'acció i de gestió específica desenvolupades a partir de les idees del Llibre Verd. El Llibre Blanc centra els esforços en identificar les accions i mesures a prendre a curt termini per tal d'adaptar-se al canvi climàtic, especialment en països en vies de desenvolupament. Enllaç:<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF>

La Directiva Marc de l'Aigua no conté referències explícites al canvi climàtic ni a la necessitat de fixar mesures d'adaptació per amortir els seus efectes; ja que va ser prèvia a la conscienciació actual. A partir del llibre Verd, el llibre Blanc i l'**Estratègia Europea sobre l'escassetat d'aigua i sequera**, s'ha introduït a la planificació europea el debat sobre com fer front als impactes del canvi climàtic sobre els recursos hídrics a través de la gestió.

L'any 2009 es va publicar l'Estratègia Comuna d'Implementació (CEI) que revisava l'aplicació de la Directiva Marc i incorporava la perspectiva d'adaptació al canvi climàtic en la gestió de l'aigua.

1.1.4. Estratègies d'adaptació i enfocament de la problemàtica a nivell estatal

La primera estratègia de canvi climàtic va ser l'**Estratègia espanyola de canvi climàtic i energia neta 2007-2012-2020 (2004)** aprovada per fer front al compliment del Protocol de Kyoto. Aquesta estratègia conté el marc de referència perquè les administracions públiques, ens públics i privats puguin adoptar polítiques i mesures per mitigar el canvi climàtic, pal·liar els efectes adversos del canvi climàtic i fer possible el compliment dels compromisos internacionals adquirits per Espanya en canvi climàtic. Enllaç: http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/documentacion_cc/estrategia_cc/pdf/est_cc_energ_limp.pdf

El **Pla nacional d'adaptació al canvi climàtic (2006, PNACC)** s'elabora com a marc per a la coordinació entre administracions públiques per a les activitats d'avaluació d'impactes, vulnerabilitat i adaptació

al canvi climàtic. Aquest pla considera els recursos hídrics com una àrea prioritària i reconeix l'aigua com un eix transversal en l'adaptació al canvi climàtic. L'objectiu principal del pla es proporcionar i facilitar el coneixement dels elements que intervenen en el canvi climàtic, les metodologies devaluació o els processos participatius per tal d'incorporar mesures d'adaptació a la planificació. S'incorpora l'enfocament sistèmic a l'avaluació del canvi climàtic, incloent factors ambientals, biològics i socioeconòmics i l'enfocament multidisciplinari. Les principals línies de treball identificades als recursos hídrics són (PNACC, 2008):

- Desenvolupament de models regionals acoblats clima-hidrologia que permetin obtenir escenaris fiables incloent els esdeveniments extrems
- Avaluació de les possibilitats de gestió de l'aigua sota els escenaris anteriors
- Aplicació dels escenaris previstos a sectors altament dependents del recurs hídric (energia, agricultura, turisme, ...)
- Desenvolupament d'indicadors del canvi climàtic i de models de qualitat ecològica en el context d'aplicació de la DMA.
- Desenvolupament d'orientacions i directrius per incorporar els impactes previstos del canvi climàtic als processos d'Avaluació d'Impacte Ambiental i d'Avaluació Ambiental Estratègica de Plans i Programes del sector hidrològic.

Enllaç:http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pnacc.htm

El Reial Decret 907/2007 i l'Ordre ARM/2656/2008 obliguen a l'avaluació dels impactes del canvi climàtic en la disponibilitat dels recursos hídrics en la planificació de gestió de conques.

Enllaç:<http://www.boe.es/boe/dias/2007/07/07/pdfs/A29361-29398.pdf>
http://www.boe.es/aeboe/consultas/bases_datos/doc.php?id=BOE-A-2008-15340

1.2. Catalunya davant el canvi climàtic

*Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.
 Javier Retana, Jaume Terradas. CREAM*

En els darrers anys Catalunya s'ha anat dotant d'eines per afrontar el repte del canvi climàtic, en

la línia de desenvolupar polítiques eficaces a escala local i regional.

En aquest context, l'any 2005 el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS) va editar el Primer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (coordinat pel professor Josep Enric Llebot). Constitueix una obra de referència i pionera a tot l'estat espanyol.

Enllaç:http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/images/stories/publicacions/informesespecials/2005/inf_canvi_climatic_integra.pdf

Posteriorment, l'any 2006, es van crear, sota la dependència del Departament de Medi Ambient i Habitatge, la Comissió Interdepartamental del Canvi Climàtic i l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic, encarregada de vetllar per la implantació de les mesures contra el canvi climàtic i el compliment del Protocol de Kyoto.

El 30 de setembre de 2008, el govern de Catalunya va aprovar el Pla marc de mitigació del canvi climàtic a Catalunya 2008-2012, el primer pla català que d'una manera coordinada i integrada tracta el canvi climàtic dins el conjunt de l'acció de govern de la Generalitat de Catalunya.

Paral·lelament, l'any 2008 el Departament de Medi Ambient i Habitatge encarrega el primer d'un seguit d'estudis de base per a l'elaboració de l'estratègia de prevenció i d'adaptació al canvi climàtic a Catalunya, en aquest cas al Delta de l'Ebre. L'adaptació al canvi climàtic té com a objectiu reduir el risc i els danys per impactes actuals i futurs, d'una manera rendible o explotant els beneficis potencials. L'opció de no actuar sempre hi és, però si no es comença a actuar ara els costos socials, ambientals i econòmics de l'adaptació seran molt elevats. És per això que gran part del món planteja l'adaptació al canvi climàtic com un dels eixos bàsics d'actuació des d'ara i per a les properes dècades.

1.2.1. Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

El desembre de 2010 el Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya, coordinat de nou pel

professor Josep Enric Llebot, va presentar el Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya, que dóna continuïtat al 1r Informe i l'actualitza.

Enllaç: http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/index.php?option=com_content&task=view&id=736&Itemid=160

L'obra s'estructura en 4 apartats:

- Bases científiques del canvi climàtic
- Impactes i vulnerabilitat del medi biofísic
- Anàlisi sectorial: gestió, mitigació i adaptació
- La recerca sobre el canvi climàtic a Catalunya.

Aquest treball, elaborat seguint una metodologia molt propera a la que utilitza el Grup Intergovernamental d'Experts de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (IPCC) representa un bon referent pel que fa a la visió regional de la qüestió de l'escalfament global.

Alguns dels científics directament implicats a ACCUA han participat en la redacció de l'informe.

1.2.2. L'aigua a Catalunya i les seves perspectives

El canvi climàtic, com a part d'un canvi global més ampli ocasionat per l'activitat humana arreu del món, pot ocasionar destacats impactes sobre el cicle hidrològic i, en conseqüència, sobre tot el conjunt de processos i activitats que en depenen.

A nivell més sectorial, doncs, sorgeixen a Catalunya diverses iniciatives i projectes amb relació als impactes del canvi climàtic i els recursos hídrics. Com a síntesi d'aquests treballs i del coneixement sobre la qüestió, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) publica l'any 2009 l'informe Aigua i Canvi Climàtic.

La documentació, organitzada en un primer resum executiu que inclou una taula resum dels principals impactes previstos per a diferents horitzons temporals i els quatre grans blocs temàtics que la formen, es pot descarregar tota ella des d'aquest enllaç o bé per blocs o pels capítols específics que els integren.

- Escenaris climàtics. Constatacions i projeccions del canvi climàtic sobre els règims pluviomètrics i termomètrics

- Impactes hidrològics. Tendències observades i projeccions sobre els règims dels rius, les aigües subterrànies, la qualitat o els riscos sobre la gestió
- Impactes sobre els ecosistemes aquàtics. Canvis observats fins ara als ecosistemes aquàtics i possibles tendències esperades per als propers anys
- Implicacions socioeconòmiques entorn del sector de l'aigua. Efectes previstos sobre les activitats humanes lligades a la disponibilitat i els usos de l'aigua i principals reflexions entorn dels canvis i les adaptacions que requerirà l'actual model.

Alguns dels científics directament implicats a ACCUA han participat en la redacció del document.

És en aquest context, amb una incipient preocupació pels aspectes relatius a l'adaptació al canvi climàtic i amb un bagatge de coneixement científic sectorial important sobre els efectes del canvi del clima sobre els sistemes físics, naturals i socials que sorgeix el projecte ACCUA, amb la intenció d'integrar les visions parcials dels treballs previs en la matèria i aterrar a una escala de treball de detall per comprendre millor els processos implicats i generar recomanacions arrelades a escala local.

1.2.3. Conques hidrogràfiques pilot

El projecte ACCUA ha avaluat la vulnerabilitat territorial al canvi global en tres conques representatives de la franja litoral catalana: el Fluvià, la Tordera i el Siurana (Figura 3). Comparables en superfície, les tres conques representen climàticament un gradient latitudinal

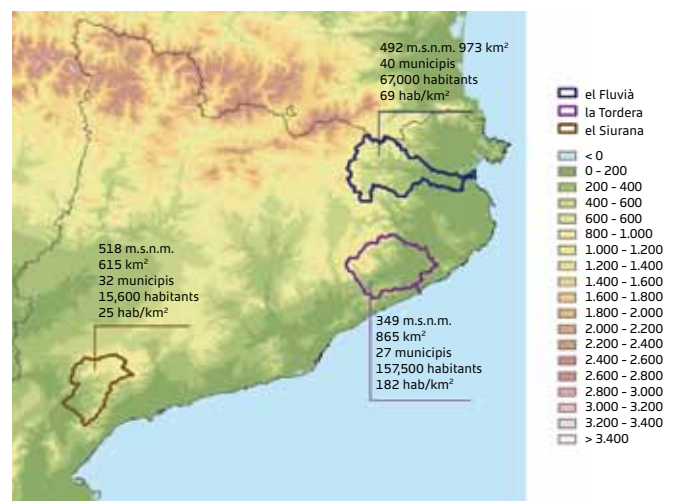


Figura 3. Conques d'estudi del projecte ACCUA.

al llarg del litoral català i recullen una diversitat interna de condicions ambientals, d'usos, pressions i demandes d'aigua que les fa especialment interessants. Alhora, són conques gens o molt poc regulades, ja que només el Siurana disposa de tres petits embassaments.

1.2.3.1. Fluvià

Situada, principalment, a cavall de les comarques de la Garrotxa, el Pla de l'Estany i l'Alt Empordà, la conca del Fluvià presenta, en la seva llargada, una elevada diversitat interna de condicions climàtiques i usos. La capçalera, força plujosa, contrasta amb les condicions menys humides de la plana al·luvial litoral. En general, es tracta d'una conca molt forestada (77.3% de la conca segons el MCSC 2005). L'agricultura s'hi concentra a la Vall d'en Bas i els cultius de fruiters al tram baix (19% de la conca). Hi conflueixen

espais naturals sensibles, tant costaners com interiors; i una pressió estacional de la població força elevada a la seva franja litoral (Figura 4).

1.2.3.2. Tordera

Entre les comarques del Vallès Oriental i la Selva, la conca de la Tordera presenta una elevada diversitat d'ambients, des dels cims de la capçalera, al Montseny, fins al seu delta. Es tracta d'una conca força forestada (80.6%, MCSC2005); on l'agricultura s'hi concentra al tram mig i baix, especialment a la plana deltaica (10%). La superfície urbanitzada (residencial i indústries) ocupa el 9% de la conca, essent la seva façana costanera l'àrea que presenta la major pressió demogràfica, estacional i permanent i, globalment, és la conca amb unes previsions de creixement més elevades. La indústria també hi és present, sobretot, en el seu tram mig.

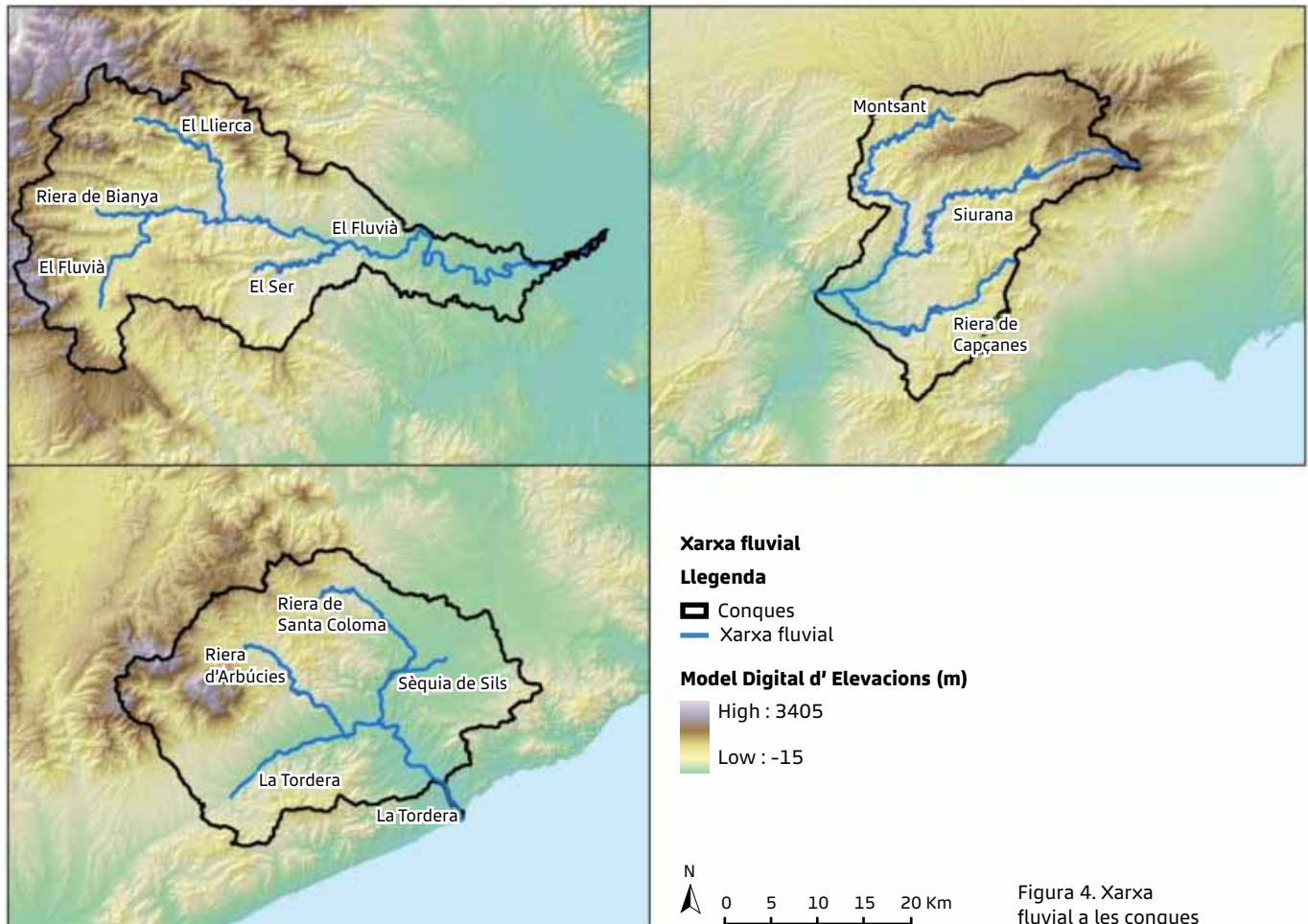


Figura 4. Xarxa fluvial a les conques

1.2.3.3. Siurana

Compren majoritàriament la comarca del Priorat, zona representativa de la Catalunya àrida i poc poblada. Es tracta de la conca més agrícola, amb un 22 % de superfície dedicada al conreu, però més afectada pels processos d'abandonament rural que s'han donat als últims anys arrel Catalunya. Conca també molt forestada (76%), però amb una forta presència de masses de matollar (24%).

2. Com són les conques?

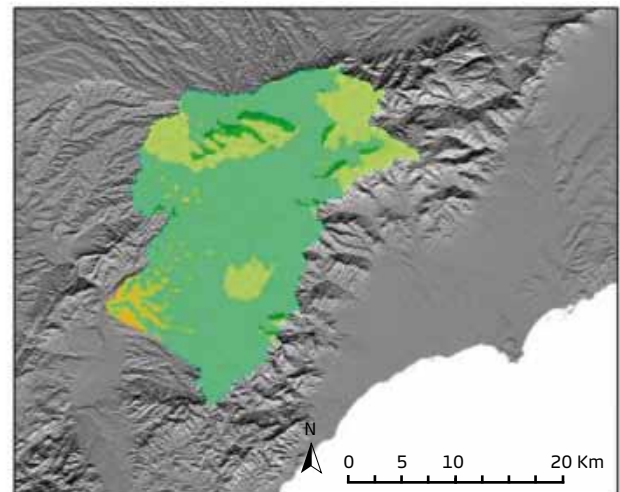
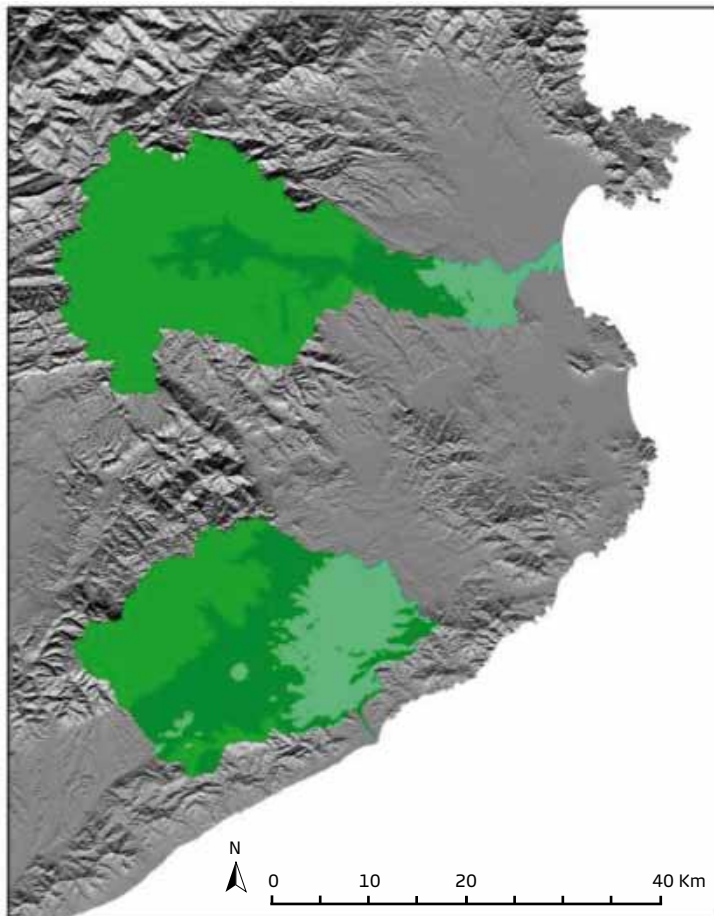
2.1. Com és el clima?

Joan Albert Lopez Bustins. UB
Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.
Javier Retana, Jaume Terradas. CREA

Catalunya és sota un clima mediterrani majoritàriament. Els règims de circulació atmosfèrica

de la conca mediterrània mostren un cicle estacional lligat a la circulació temperada i humida de l'oest a l'hivern i a una d'estrictament subtropical a l'estiu. El clima mediterrani s'ubica en una transició geogràfica entre el domini temperat i humit de les latituds mitjanes i l'àrea àrida i desèrtica del cinturó dels anticiclons tropicals (Annex 1).

Segons la classificació climàtica de Köppen-Geiger les tres conques d'estudi tenen una gran diversitat climàtica dins el context mediterrani (Figura 5). Això és a causa de la gran complexitat orogràfica de la conca mediterrània i la seva configuració semitancada a l'Atlàntic. Es poden donar diferents graus de continentalitat segons el gradient de temperatura mar-continent, però la variable més heterogènia espacialment i temporalment és la precipitació. Mentre el clima mediterrani es caracteritza per tenir un màxim pluviomètric a l'hivern, a les àrees d'estudi (a excepció de la capçalera del Fluvià) trobem que els màxims són equinoccials tant en freqüència com en quantitat, essent la tardor més elevada en quantitat, i l'hivern sobrepasant lleugerament l'estiu (Figura 6).



- BSk - clima estèpic fred
- Cfa - clima temperat càlid humit amb estiu molt càlid
- Cfb - clima temperat càlid humit amb estiu càlid
- Csa - clima temperat càlid humit amb estiu sec i molt càlid
- Csa - clima temperat càlid humit amb estiu sec i càlid

Aplicació de la classificació climàtica de Köppen a les conques d'estudi

Figura 5. Climes de les conques d'estudi segons la classificació climàtica de Köppen-Geiger. S'ha fet una classificació automàtica mitjançant l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (Ninyerola et al., 2000) segons els criteris actualitzats de Kottek et al. (2006).

Específicament, la franja est de la Península Ibèrica s'ubica a sotavent de la influència atlàntica, fet que afavoreix que la tardor sigui l'estació més plujosa per una ciclogènesi pròpia de la Mediterrània, moment de l'any que les aigües marines es troben més escalfades, mentre l'hivern és relativament sec (Martín-Vide i Olcina Cantos, 2001).

Precipitació mitjana cada 10 dies (mm)

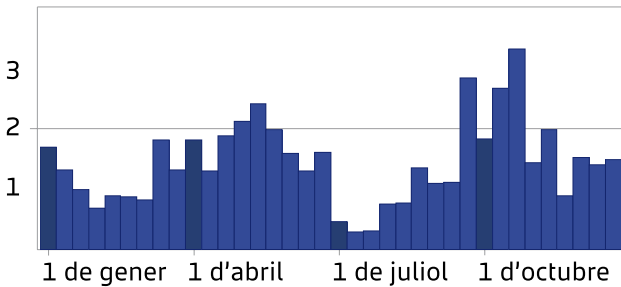


Figura 6. Calendari pluviomètric de Cabacés (el Priorat, conca del Siurana) a partir de les mitjanes de quantitats diàries en 10 dies (mm) segons el període 1971-2000. (Dades diàries de l'Agència Estatal de Meteorologia, AEMET).

Els augments tan significatius que ha sofert la temperatura a Catalunya durant les tres darreres dècades (Brunet et al., 2001) es relativitzen si es té en compte un període de temps més llarg. Considerant la integritat del segle XX, els increments són més modestos, essent fins i tot no significatius en el cas de la sèrie més propera a la conca del Siurana (Tivissa) (Figura 7). Les sèries de l'Estartit i de Vilobí d'Onyar, la més llarga i propera a la conca del Fluvià i a la conca de la Tordera respectivament, sí mostren un ascens significatiu de la temperatura mitjana (Tmit) anual al llarg del segle XX segons el t-test i el test de Mann-Kendall (programa AnClim –Stepanek, 2007–). Tot i que els darrers anys han estat els més càlids mai registrats instrumentalment, a finals dels anys 40 i inicis dels 50 es van mesurar temperatures força elevades, lleugerament inferiors a les actuals.

L'evolució de la temperatura mitjana anual a l'Observatori Fabra, l'estació meteorològica amb la sèrie més llarga i fiable de Catalunya juntament amb la de l'Observatori de l'Ebre, demostra que hi ha una homogeneïtat espacial a la temperatura a Catalunya (Figura 8). Algunes de les sèries de temperatura que es disposen de les conques

Temperatura mitjana anual (°C)

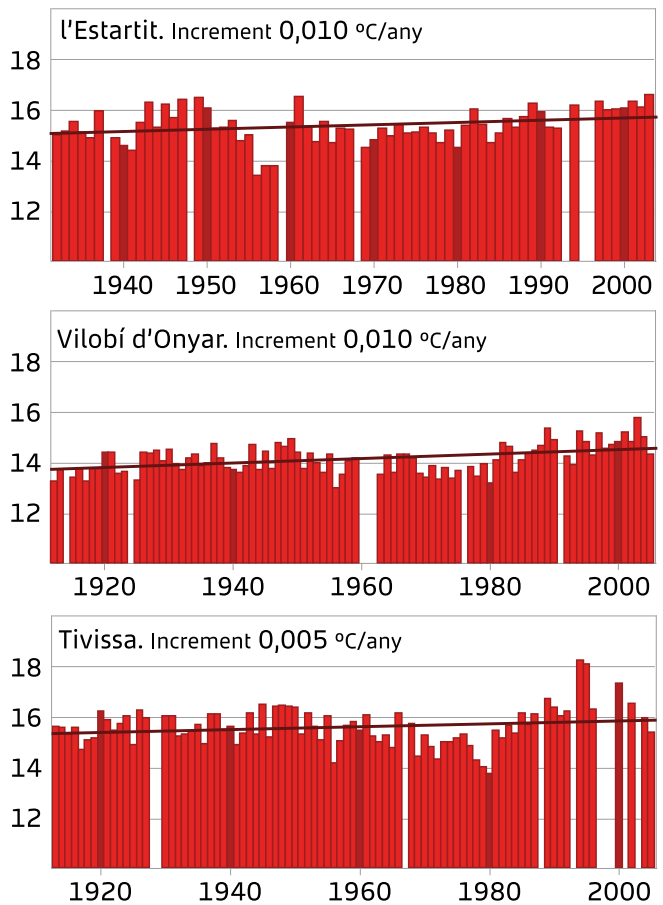


Figura 7. Evolució de la temperatura mitjana (Tmit) anual (°C) al llarg del segle XX i principis del segle XXI a l'Estartit, Vilobí d'Onyar i Tivissa. Es mostren les tendències en °C/ any. (Font: Dades mensuals de la base de dades North Eastern Spain Air Temperature database -NESATv2- del Grup de Recerca del Canvi Climàtica de la Universitat Rovira i Virgili).

Temperatura mitjana anual (°C)

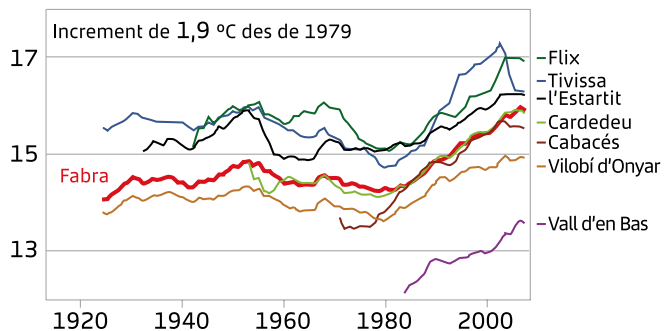


Figura 8. Mitjanes mòbils d'11 anys de diverses sèries de Tmit anual a les conques d'estudi o properes a elles. La sèrie de l'Observatori Fabra és la de referència. Font: AEMET i NESATv2.

d'estudi mostren una evolució similar a la sèrie de l'Observatori Fabra. Als anys 70, la comunitat científica estava convençuda que ens dirigíem cap a un nou període glacial, però a principis dels 80 s'inicia un ascens de la temperatura mai registrat anteriorment a Catalunya. Això ha donat un ascens d'1,9 °C aproximadament en el conjunt de les tres conques d'estudi per a les tres darreres dècades. A partir dels anys 90 tenen lloc els anys més càlids a Catalunya i a les conques d'estudi dels darrers 150 anys com a mínim (Brunet et al., 2001).

Mentre la temperatura mostra un augment força contundent, l'evolució de la precipitació al llarg del segle XX ha estat més diversa i no hi ha una tendència clara. La variació de la pluviometria anual durant els darrers 100 anys en quatre de les sèries més llargues de Catalunya és gairebé nul·la tot i que comprenen períodes lleugerament diferents (Figura 9). Hi ha hagut períodes humits i de sequera com els que han tingut lloc recentment entre el 2007 i 2008. Els últims 5 anys de la dècada dels 40 foren anòmalament secs, amb registres pluviomètrics més baixos que els de 2007. D'altra banda, els registre tan elevats de finals dels 60 no s'han tornat a enregistrar. En general, es tracten d'uns cicles naturals de la precipitació que caracteritzen el clima mediterrani.

Caldria comprovar quina evolució ha tingut estacionalment la precipitació, anàlisi que es porta a terme en aquest estudi per al període 1951-2000. A grans trets, diversos treballs apunten a una davallada de la pluviometria anual al llarg de les darreres dècades a la façana oriental de la Península Ibèrica (Narrant i Douguédroit, 2006; De Luis et al., 2009), i sobretot a l'estiu (Millán et al., 2005), però per a l'hivern no hi ha un consens espacial (González-Hidalgo et al., en premsa). El darrer Informe d'Avaluació del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) de 2007 assenyala la Mediterrània com una de les àrees del planeta on hi ha un clar consens entre els models i els escenaris d'una reducció de precipitació a la meitat càlida de l'any per a finals del segle XXI. Pel que fa a l'hivern resten força incògnites.

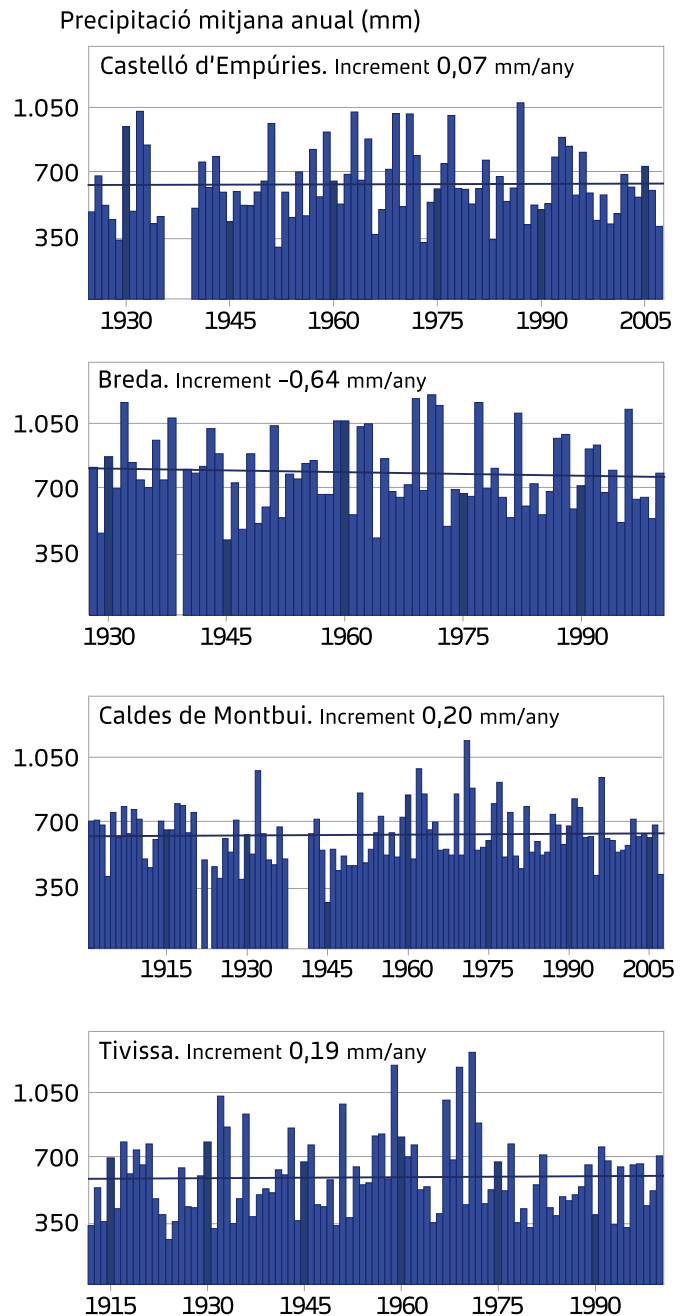


Figura 9. Evolució de la precipitació mitjana anual (mm) al llarg del segle XX i principis del segle XXI a Castelló d'Empúries (el Fluvià), Breda (la Tordera), Caldes de Montbui i Tivissa (el Siurana). Es mostren les tendències en mm/any. (Dades mensuals de la base de dades North Eastern Spain Adjusted Precipitation dataset -NESAP- del Grup de Recerca del Canvi Climàtica de la URV). (La sèrie de Castelló d'Empúries s'ha complementat amb el període 1995-2007 amb dades de l'AEMET, i a la sèrie de Caldes de Montbui s'ha afegit el període 2001-2007 amb dades de la Torre Marimón).

2.1.1. Dades disponibles

Per calcular les mitjanes pluviomètriques i termomètriques de les conques s'ha utilitzat l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (Ninyerola et al., 2000). La resolució espacial de l'atles és de 180 m x 180 m i té un format ràster. Per fer la cartografia de l'atles es van emprar 160 estacions meteorològiques amb registres de temperatura (1 estació per 200 km²) i 257 estacions meteorològiques amb registres de precipitació (1 estació per 125 km²) que tenien dades entre 15 i 20 anys durant el període 1951-1999.

Per fer una anàlisi de tendències i canvis en les variables climàtiques cal estudiar l'evolució temporal de les sèries. S'han emprat 6 sèries de temperatura de la base de dades North Eastern Spain Air Temperature database (NESATv2) (Brunet et al., 2001), tenint en compte que l'evolució temporal de la temperatura és força homogènia espacialment. En canvi, la base de dades de precipitació s'ha elaborat a partir de 49 sèries que es troben dins un buffer de 10 km de la conca d'estudi: 44 de la base MOPREDAmes (Monthly Precipitation Dataset, Mediterranean Spain) (González-Hidalgo et al., en premsa), 4 de North Eastern Spain Adjusted Precipitation dataset (NESAP) (Saladié et al., 2007) i 1 de Météo-France (Figura 10). La irregularitat espacial de la precipitació requereix un major nombre de sèries per determinar zones localitzades amb determinats comportaments pluviomètrics. El període d'estudi d'evolució temporal és el 1951-2000 que coincideix amb el de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya. No obstant, l'hivern comprèn el període 1951/52-1999/2000 i té un valor menys que les altres estacions en algunes anàlisis de l'estudi. Les estacions de l'any en climatologia convencional es consideren de la següent forma: primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost), tardor (setembre, octubre i novembre) i hivern (desembre, gener i febrer).

Per generar les sèries climàtiques necessàries per córrer el models de simulació (SWAT, GOTILWA+, conreus, etc.) s'han utilitzat les sèries de les estacions meteorològiques més properes a les conques. Els models de simulació requereixen de dades diàries, distribuïdes homogèniament pel territori, per una sèrie de variables climàtiques: precipitació, temperatura màxima i mínima,



Figura 10. Localització de les 49 sèries emprades per fer l'anàlisi pluviomètrica temporal (12 sèries per al Fluvià, 22 sèries per a la Tordera i 15 sèries per al Siurana) i les 6 sèries per fer l'anàlisi de la temperatura (1 per al Fluvià, 3 per a la Tordera i 2 per al Siurana). Font: MOPREDAmes, NESAP, Météo-France i NESATv2.

radiació solar, humitat relativa i velocitat del vent. En aquest projecte s'han fet servir les estacions meteorològiques de l'AEMET (Agència Estatal de Meteorologia), caracteritzades per proporcionar sèries llargues de precipitació i temperatura (algunes des de 1920), i les estacions meteorològiques del SMC (Servei Meteorològic

de Catalunya), de creació més recent però que incorpora totes les variables necessàries per aquest projecte. La selecció d'estacions s'ha fet atenent a la seva ubicació geogràfica dins i fora de la conca, de manera que es recull la seva

heterogeneïtat climàtica, i a la continuïtat en les sèries de dades.

La Taula 1 i la Figura 11 mostren les estacions utilitzades al projecte:

	Nombre estació	ID	Coordenades UTM	Altitud	Període de dades	SMC / AEMET	Dades disponibles
FLUVIA	Banyoles	DJ	482863, 4662623	157	1999-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	Castellfollit de la Roca	395	462813, 4674323	296	1916-2008	AEMET	P, T
	Jafre	384	500873, 4657878	44	1928-2008	AEMET	P
	la Tallada d'Empordà	UB	505225, 4656000	20	1993-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	la Vall d'en Bas	W9	455025, 4666305	463	2000-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	la Vall d'en Bas	388E	453877, 4664690	475	1982-2008	AEMET	P, T
	Maià de Montcal	405I	478212, 4671790	160	1985-2008	AEMET	P
TORDERA	Olot	DC	457225, 4671358	421	1998-2008	SMC	P, T, rad, HR
	Blanes	281	482705, 4613918	18	1973-2008	AEMET	P, T
	Dosrius	UQ	453870, 4607930	460	1996-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	Malgrat de Mar	UR	479450, 4611050	4.5	1993-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	Sant Celoni	263	457997, 4615748	155	1940-2008	AEMET	P, T
	Santa Coloma de Farners	272U	474368, 4636242	140	1978-2008	AEMET	P
	Vilobí d'Onyar (Aeroport Girona)	367	480115, 4638937	127	1973-2008	AEMET	P,T
SIURANA	Tagamanent	VX	442128, 4622198	990	1996-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	Vilobí d'Onyar	VN	478610, 4637295	120	1998-2008	SMC	P, T, HR
	Cabacés	961	309700, 4568923	357.00	1971-2008	AEMET	P, T
	Cornudella	956	324469, 4570002	510.00	1988-2008	AEMET	P, T
	Falset	CH	317465, 4557980	350.00	1995-2008	SMC	P, T, rad, HR, V
	Margalef	D1	311995, 4573065	405.00	1996-2008	SMC	P, T, rad, HR
	Ulldemolins	CZ	322550, 4576550	630.50	1996-2008	SMC	P, T, rad, HR, V

Taula 1. Relació d'estacions meteorològiques utilitzades al projecte (Dades disponibles: P = Precipitació (mm), T = Temperatura (°C), rad = Radiació solar acumulada (W/m2), HR = Humitat relativa mitjana (%), V = Velocitat mitjana del vent (m/s).
 Taula 1. Relació d'estacions meteorològiques utilitzades al projecte (Dades disponibles: P = Precipitació (mm), T = Temperatura (°C), rad = Radiació solar acumulada (W/m2), HR = Humitat relativa mitjana (%), V = Velocitat mitjana del vent (m/s).

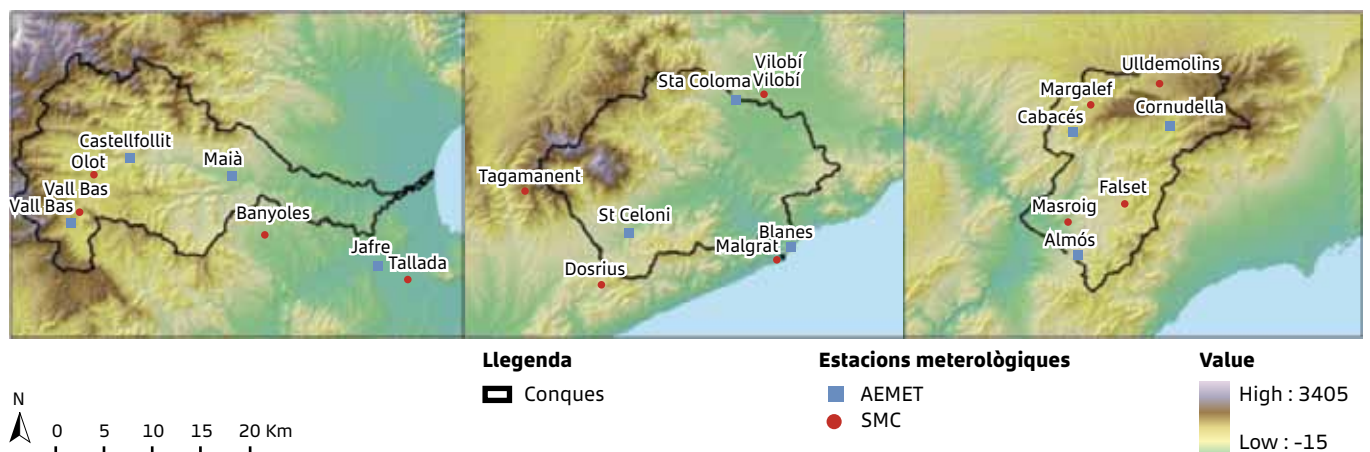


Figura 11 . Localització de les estacions meteorològiques utilitzades al projecte

2.1.2. Temperatura

La temperatura mitjana anual de les tres conques és similar i es troba al voltant dels 13°C. S'emmarquen en un clima mediterrani relativament fred però no segueixen un gradient latitudinal. La conca més freda és el Fluvià i la més càlida és la Tordera (Figura 12). Al tram mitjà i baix de la Tordera la Tmit anual supera en extenses àrees els 15°C i a la conca del Siurana només sobrepassa aquest llindar a les parts més baixes. A la conca del Fluvià no hi ha pràcticament zones per sobre els 15°C. La distribució espacial de la temperatura segueix amb molta fidelitat l'orografia de la conca. La conca del Fluvià es distingeix per tenir una temperatura mínima (Tmín) anual un grau més baixa que les altres conques, que s'accentua a l'estiu. En canvi, la temperatura màxima (Tmàx) anual és més elevada a la conca de la Tordera, però superada per la de la conca del Siurana a l'estiu. La continentalitat més elevada la trobem a la conca del Fluvià, on la diferència entre les Tmín i Tmàx anuals és de 11.4°C, mentre a la conca de la Tordera i del Siurana és de 10.6°C i 10.0°C, respectivament. Tot i que el Fluvià desguassa directament al mar té una extensa àrea de capçalera molt endinsada en el continent amb relleus molt notables que pronuncien aquesta continentalitat.

Les darreres tendències de temperatura mostren que hi ha un augment evident a la segona meitat del segle XX a les conques d'estudi, com ja s'ha evidenciat a l'inici d'aquest capítol. Les temperatures mínimes han

augmentat més que les màximes, en consonància amb els resultats de Brunet et al. (2001) per al conjunt de les sèries de Catalunya per al període 1975-1998. Aquest fenomen és contrari a la tendència global en què s'està detectant un increment de les Tmín superior a la de les Tmàx (Easterling, 1997).

Per les conques d'estudi, els augments més significatius s'han detectat a l'estiu, sobretot, als mesos de juliol i agost. Els increments més moderats, amb molt poques sèries significatives, han tingut lloc a la primavera i a la tardor. Les sèries que han detectat uns augments més significatius han estat Tivissa, Cardedeu i l'Estartit, és a dir, una sèrie representativa de cada conca d'estudi. Cal comentar que els augments detectats a la sèrie de Flix només són significatius a l'estiu.

En general, la temperatura s'ha incrementat al llarg del període d'estudi 1951-2000 al voltant d'un 1,25°C a les conques d'estudi, 1,5°C les Tmàx i 0,5°C les Tmín. Independentment de la significació estadística, l'hivern i l'estiu són les estacions que presenten uns major augments. Són increments al voltant d'1,5°C de la Tmit en ambdues estacions, i de gairebé 2°C en el cas de les Tmàx estivals. Les estacions equinoccials mostren un augment més moderat al voltant d'1°C en el cas de les Tmàx i de poc més de 0,5°C en les Tmín. Les sèries de Tivissa i Cardedeu són les que tenen els augments més destacats al llarg de la segona meitat del segle XX. Cal destacar els 2,3°C de les Tmín de Tivissa i els 2,20°C de les Tmàx de Cardedeu.

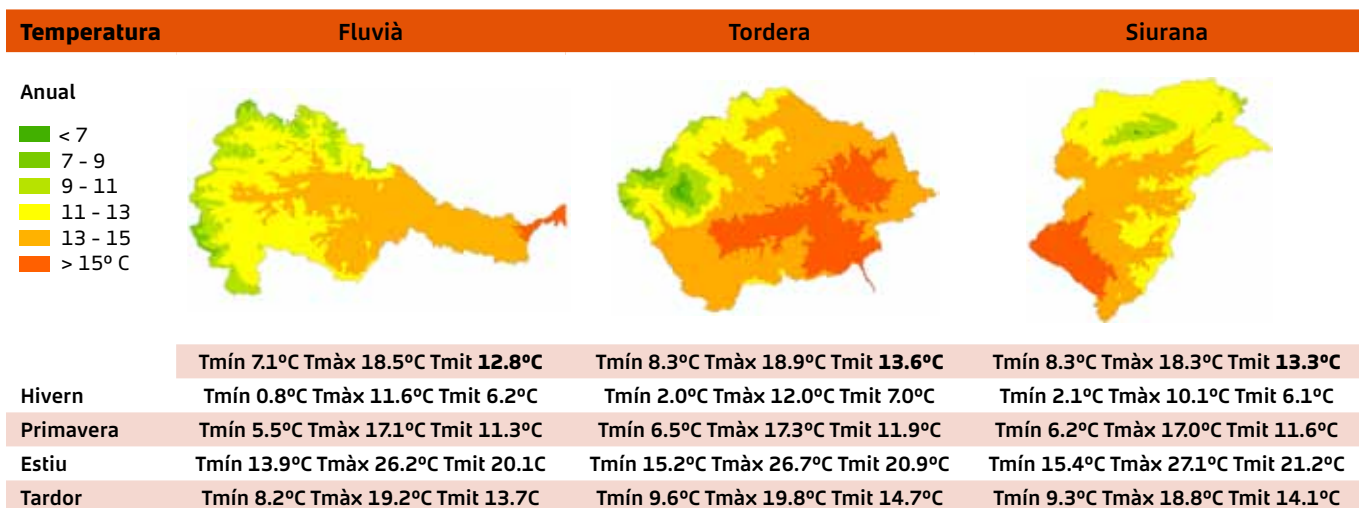


Figura 12. Temperatura mitjana (Tmit), temperatura mínima (Tmín), temperatura màxima (Tmàx) anual i per estacions segons l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (període d'estudi: 1951-1999) utilitzant tècniques GIS a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial de la Tmit anual per a cada conca d'estudi.

	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	L'Estartit
Altitud (m)	310	56	195	1,708	129	2
Conca	Siurana	Siurana	Tordera	Tordera	Tordera	Fluvià
T mínima	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	L'Estartit
Gener	0.045	0.000	0.025	0.029	0.015	0.028
Febrer	0.050	0.031	0.032	0.058	0.038	0.042
Març	0.025	0.019	0.009	0.034	0.000	0.006
Abril	0.004	0.003	0.006	-0.005	-0.005	0.004
Maig	0.042	0.017	0.017	0.006	0.003	0.017
Juny	0.034	0.018	0.032	0.013	0.011	0.018
Juliol	0.044	0.023	0.035	0.008	0.016	0.022
Agost	0.056	0.043	0.048	0.028	0.030	0.045
Setembre	0.013	0.019	0.008	0.001	0.000	0.006
Octubre	0.024	0.001	0.015	0.017	0.012	0.020
Novembre	0.039	0.017	0.037	0.027	0.017	0.029
Desembre	0.040	0.002	0.048	0.009	0.019	0.024
Hivern	0.045	0.009	0.029	0.029	0.026	0.032
Primavera	0.025	0.012	0.010	0.001	0.000	0.009
Estiu	0.046	0.024	0.039	0.017	0.020	0.028
Tardor	0.025	0.011	0.021	0.015	0.010	0.018
Anual	0.034	0.011	0.026	0.020	0.014	0.022
T màxima	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	L'Estartit
Gener	0.042	-0.018	0.043	0.035	0.027	0.010
Febrer	0.036	0.024	0.065	0.073	0.052	0.046
Març	0.034	0.021	0.045	0.040	0.040	0.045
Abril	0.009	0.020	0.025	0.022	0.013	0.008
Maig	0.012	0.015	0.022	0.007	0.015	0.002
Juny	0.016	0.029	0.026	0.039	0.031	0.013
Juliol	0.016	0.027	0.034	0.038	0.034	0.023
Agost	0.033	0.047	0.059	0.058	0.057	0.072
Setembre	0.031	0.014	0.012	0.049	0.020	0.039
Octubre	0.018	0.018	0.012	0.012	0.019	0.014
Novembre	0.034	0.019	0.016	0.007	0.020	0.027
Desembre	0.049	0.006	0.034	-0.007	0.020	0.021
Hivern	0.042	0.004	0.043	0.031	0.034	0.024
Primavera	0.018	0.019	0.03	0.023	0.022	0.018
Estiu	0.023	0.033	0.04	0.045	0.042	0.036
Tardor	0.030	0.014	0.013	0.023	0.016	0.028
Anual	0.029	0.014	0.033	0.029	0.034	0.029
T mitjana	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	L'Estartit
Gener	0.043	-0.009	0.034	0.032	0.021	0.019
Febrer	0.043	0.028	0.049	0.066	0.045	0.044
Març	0.031	0.020	0.027	0.037	0.021	0.025
Abril	0.007	0.012	0.015	0.007	0.007	0.007
Maig	0.027	0.016	0.021	0.008	0.009	0.010
Juny	0.026	0.024	0.029	0.027	0.021	0.016
Juliol	0.032	0.026	0.036	0.024	0.027	0.024
Agost	0.045	0.045	0.054	0.044	0.044	0.058
Setembre	0.023	0.010	0.010	0.026	0.010	0.023
Octubre	0.023	0.008	0.014	0.015	0.017	0.019
Novembre	0.037	0.020	0.027	0.019	0.020	0.028
Desembre	0.045	0.008	0.040	0.002	0.020	0.023
Hivern	0.043	0.007	0.036	0.03	0.030	0.028
Primavera	0.022	0.016	0.020	0.015	0.014	0.013
Estiu	0.035	0.030	0.040	0.031	0.032	0.033
Tardor	0.028	0.012	0.017	0.019	0.013	0.024
Anual	0.031	0.013	0.030	0.025	0.025	0.026

t-test
 Mann-Kendall non-parametric test
 Els dos tests

Taula 2. Tendències de la Tmín, Tmàx i Tmit de les sèries de la base de dades NESATv2 dins o properes a les conques d'estudi per mesos, estacions i anualment.

2.1.3. Precipitació

Les tres conques mostren mitjanes pluviomètriques atribuïbles a un clima mediterrani però amb matisos latitudinals força diferenciats tot i la proximitat geogràfica entre elles. Si observem la Figura 13 podem detectar que les aportacions hídriques són molt distintes entre la conca del Fluvià i la del Siurana. Mentre la primera es troba totalment dins el domini que podem considerar la Catalunya humida (llindar 700 mm), la conca del Siurana és representativa de la Catalunya seca. La conca de la Tordera en ubicar-se en una latitud intermitja de les altres dues conques té una capçalera més similar a la conca del Fluvià però un tram baix típic del clima mediterrani més sec com la conca del Siurana.

El clima mediterrani es caracteritza per tenir una equinoccialitat de la pluviometria, amb un màxim tardorenc en el cas de la vessant oriental de la Península Ibèrica, amb un mínim estival que es reflecteix amb exactitud a les conques de la Tordera i el Siurana (Figura 13). En canvi, la conca del Fluvià tot i estar sota un àmbit mediterrani, té forts trets de clima de muntanya en trobar-se la seva capçalera en el Pirineu Oriental. Una prova evident és el fet que l'estiu sigui l'estació més plujosa juntament amb la tardor.

El CV és una mesura de dispersió relativa per comparar les variabilitats pluviomètriques de diferents observatoris i es defineix com el simple quocient entre la desviació típica i la mitjana, i es pot optar per expressar-ho en percentatge: $CV = (S/X) \cdot 100 (\%)$. Aquest indicador del comportament de la precipitació també mostra que la variabilitat de la precipitació segueix un gradient latitudinal nord-sud. Les variabilitats més elevades de precipitació a la Península Ibèrica s'han detectat a la conca del Segura (Martín-Vide, 1996). El caràcter mediterrani de la precipitació segueix un gradient nord-sud i oest-est en el context ibèric. A la Figura 14 és palès l'increment de la variabilitat de la precipitació tant anual com estacional en disminuir la latitud. Anualment, la conca del Fluvià es caracteritza per una variabilitat moderada de la precipitació, mentre la conca de la Tordera per una de moderadament elevada. L'Empordà i les Terres de l'Ebre es caracteritzen per tenir els CV més elevats de Catalunya (Cernocky et al., 2008), això és coherent amb el CV obtingut a la desembocadura del Fluvià i a la part més meridional de la conca del Siurana.

Estacionalment, els valors del CV són més elevats òbviament en haver-hi una major dispersió dels totals pluviomètrics. Per exemple, l'hivern obté uns valors molt alts perquè en alguns anys la precipitació pot ser molt reduïda com a l'estiu

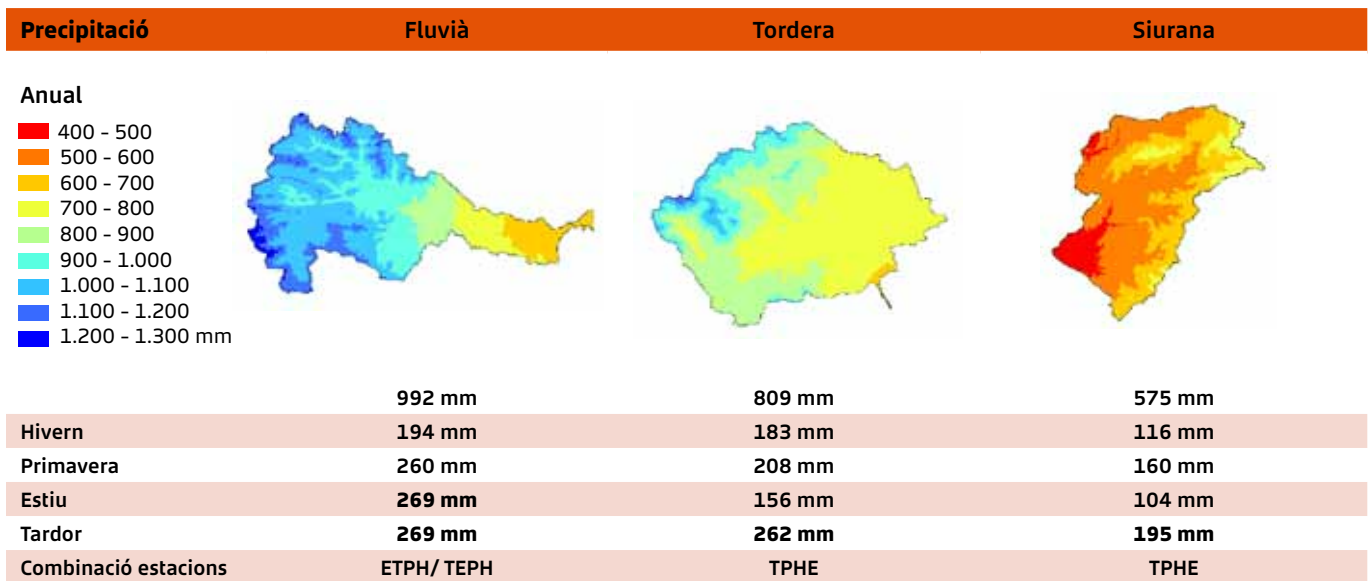


Figura 13. Precipitació mitjana anual i per estacions segons l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (període d'estudi: 1951-1999) utilitzant tècniques GIS, i règims pluviomètrics a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial de la precipitació mitjana anual per a cada conca d'estudi.

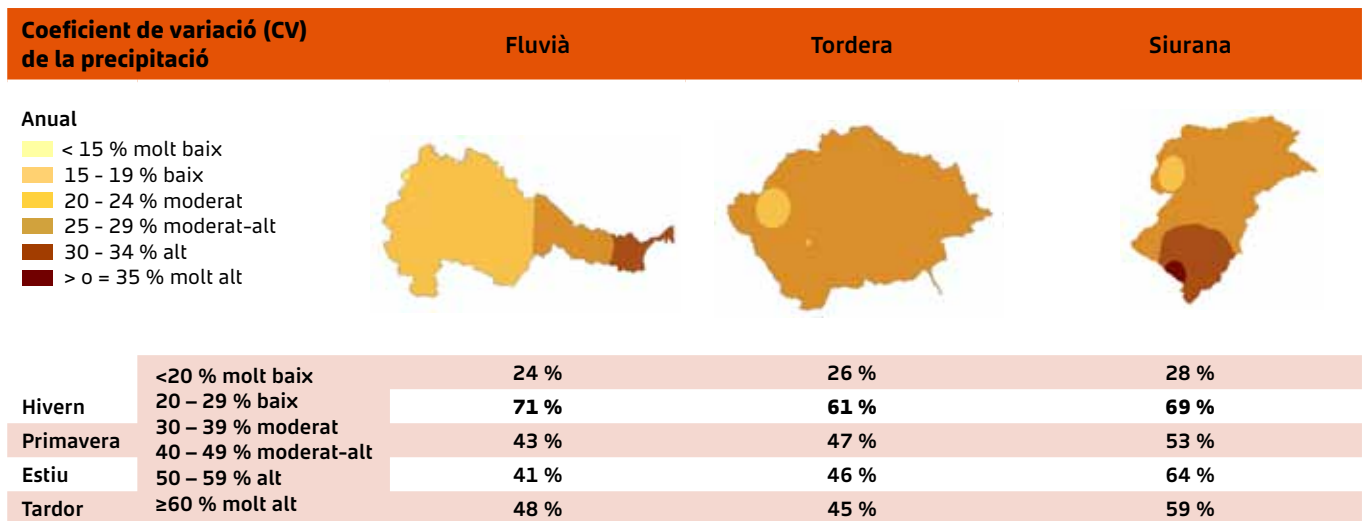


Figura 14. Coeficient de variació (CV) mitjà de la precipitació segons les sèries de les bases de dades de la Figura 10 utilitzant tècniques GIS a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial del CV anual per a cada conca d'estudi.

mediterrani sota situacions dominades per anticiclons, tèrmics principalment, o donar-se episodis de pluja intensa com a la tardor. Les altres estacions tenen uns valors moderadament elevats a les conques del Fluvià i la Tordera, i alts i molt alts a la del Siurana.

Quan s'analitzen les tendències en la precipitació, cal tenir en compte la influència dels principals patrons de circulació atmosfèrica, la variabilitat dels quals es pot quantificar mitjançant els índexs de teleconnexió. Aquests mesuren la variabilitat de la pressió atmosfèrica entre dos punts geogràfics relativament allunyats. Per exemple, la NAO i l'AO detecten l'oscil·lació de les circulacions de l'oest sobre Europa. La NAO se centra en l'àmbit estricte de l'Atlàntic Nord, i l'AO, en ser l'extensió de la NAO fins al Pol Nord (Thompson i Wallace, 2000), detecta canvis de circulació entre les latituds més septentrionals i l'Europa Central. Però, en canvi, la WeMO permet detectar circulacions més regionalitzades (Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

Anualment, aquests índexs no tenen una influència sobre la precipitació, però sí estacionalment (Taula 3). Els patrons de circulació atmosfèrica prenen una major dinàmica a la meitat freda de l'any i les circulacions regionals de la Mediterrània estan fortament lligades a aquests modes de l'Hemisferi Boreal (NAO i AO) (Düneloh i Jacobeit,

2003). D'aquí que s'obtinguin les correlacions més elevades a l'estació més freda de l'any.

	Índex de teleconnexió	Fluvià	Tordera	Siurana
Primavera	WeMO	-0.10	-0.10	-0.06
	NAO	-0.37	-0.34	-0.37
	AO	-0.07	-0.05	-0.03
Estiu	WeMO	0.21	0.22	0.17
	NAO	-0.08	-0.06	-0.10
	AO	-0.13	-0.11	-0.12
Tardor	WeMO	-0.34	-0.33	-0.44
	NAO	-0.22	-0.14	-0.14
	AO	-0.01	0.08	0.20
Hivern	WeMO	-0.50	-0.39	-0.40
	NAO	-0.44	-0.50	-0.59
	AO	-0.05	-0.19	-0.36
Anual	WeMO	-0.13	-0.09	-0.19
	NAO	-0.09	-0.09	-0.14
	AO	0.00	-0.05	-0.08

Taula 3. Coeficients de correlació de Pearson entre la precipitació i el WeMO, NAO i AO. Els valors en negreta són significatius al 95% del nivell de confiança.

A l'estiu, els camps de pressió són més homogenis sobre la Mediterrània i els vents de l'oest es debiliten, per això, els índexs de teleconnexió no es correlacionen amb la precipitació de les conques d'estudi. A la meitat càlida de l'any prenen força les circulacions locals de vent vinculades a fronts de

brises que donen lloc a precipitacions convectives (Azorin-Molina i Lopez-Bustins, 2008). Aquestes precipitacions precisament són les que fan que l'estiu sigui una estació especialment humida a la capçalera del Fluvià.

El comportament de la precipitació primaveral a les conques d'estudi es troba sota el domini de la NAO en la seva fase negativa. És coherent amb els resultats d'estudis anteriors (Rodríguez-Puebla et al., 2001; Martín-Vide i Fernández Belmonte, 2001). A la tardor, en canvi, es detecta una influència total de la WeMO. En aquesta estació és quan la WeMO té un paper molt important per explicar la precipitació de la façana oriental de la Península Ibèrica ja que les circulacions de l'Atlàntic queden totalment supeditades a la ciclogènesi Mediterrània, afavorida per unes aigües marines escalfades (Guijarro, 2002). L'hivern té unes altes correlacions amb tots els índexs de teleconnexió, de fet, és en l'única estació que l'AO té una influència significativa en una de les conques d'estudi. És en la del

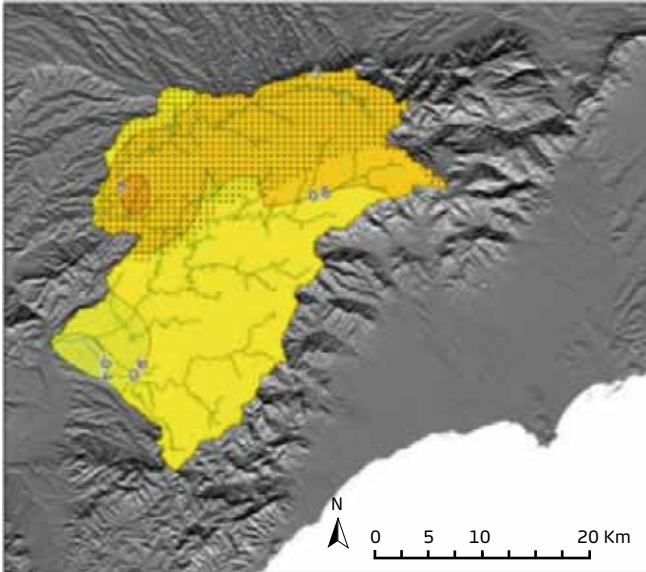
Siurana, on la NAO també hi té la influència més elevada de les tres. A la Tordera, la NAO també té una correlació elevada amb la precipitació per sobre de l'obtinguda amb la WeMO. No obstant, cal destacar que el Fluvià continua estant sota la influència de la WeMO també a l'hivern, coherent amb la caracterització pluviomètrica mediterrània atribuïda al Pirineu Oriental a l'estació hivernal (López-Bustins, 2007). Pel que fa a les tendències de la precipitació, es pot dir que no hi ha hagut variacions significatives a les conques d'estudi al llarg de la segona meitat del segle XX. S'apunta a una certa tendència general a la davallada, que arriba a ser significativa a l'estiu a la conca del Siurana (Taula 4 i Figura 15). L'hivern és l'única estació de l'any que mostra un cert augment (Figura 16).

El mes de març és un moment clau de l'any per a les reserves hídriques de cara a l'estació seca. Arreu de la Península Ibèrica s'ha detectat una reducció preocupant de la precipitació en aquest mes des de finals dels anys 60 (Saladié et al., 2006; Aguilar et al., 2006; Paredes et al., 2006). Les nostres conques d'estudi també evidencien aquest descens sense excepció (Taula 4 i Figura 17). Aquesta davallada de precipitació podria estar vinculada a canvis en la circulació atmosfèrica sobre Europa que s'associen a fases més positives de la NAO. Les conques d'estudi estan molt influenciades per aquest índex de teleconnexió a la primavera. Els valors d'aquest índex tenen una tendència positiva significativa al mes de març al llarg de la segona meitat del segle XX (López-Bustins, 2007). L'ocurrència de fases positives de la NAO implica una persistent circulació de l'oest associada a situacions anticiclòniques sobre la Península Ibèrica.

Finalment, l'ascens moderat de l'estació hivernal està condicionat per un ascens significatiu al mes de gener. Aquest fenomen s'està donant en territoris de la façana oriental de la Península Ibèrica que es troben exposats orogràficament als fluxos humits del NE. Aquests estan esdevenint més freqüents en els darrers hiverns a causa de l'increment de la pressió atmosfèrica a l'Europa Central (Stefanicki et al., 1998; Maugeri et al., 2004). Aquest fenomen està vinculat a la tendència negativa significativa de la WeMO

1951-2000	mm/ any	Fluvià	Tordera	Siurana
Gener	1.13	0.81	0.42	
Febrer	-0.66	-0.46	-0.19	
Març	-1.34	-1.03	-0.55	
Abril	0.14	-0.02	0.24	
Maig	0.35	-0.15	-0.02	
Juny	-0.43	0.18	-0.66	
Juliol	-0.48	-0.33	-0.14	
Agost	-0.36	-0.28	0.05	
Setembre	-0.31	-0.42	-0.64	
Octubre	-0.56	-0.78	0.26	
Novembre	0.09	0.17	0.11	
Desembre	0.58	0.25	0.03	
Primavera	-0.76	-1.19	-0.27	
Estiu	-1.25	-0.43	-0.76	
Tardor	-0.79	-1.04	-0.27	
Hivern	0.89	0.53	0.27	
Anual	-1.89	-2.06	-1.03	
Almenys dues estacions dins el buffer de 10 km tenen una tendència negativa significativa				
Almenys dues estacions dins el buffer de 10 km tenen una tendència positiva significativa				

Taula 4. Tendències de la precipitació a partir de les sèries de precipitació de la Figura 10 per a cada conca d'estudi mitjançant un SIG per mesos, estacions i anualment.

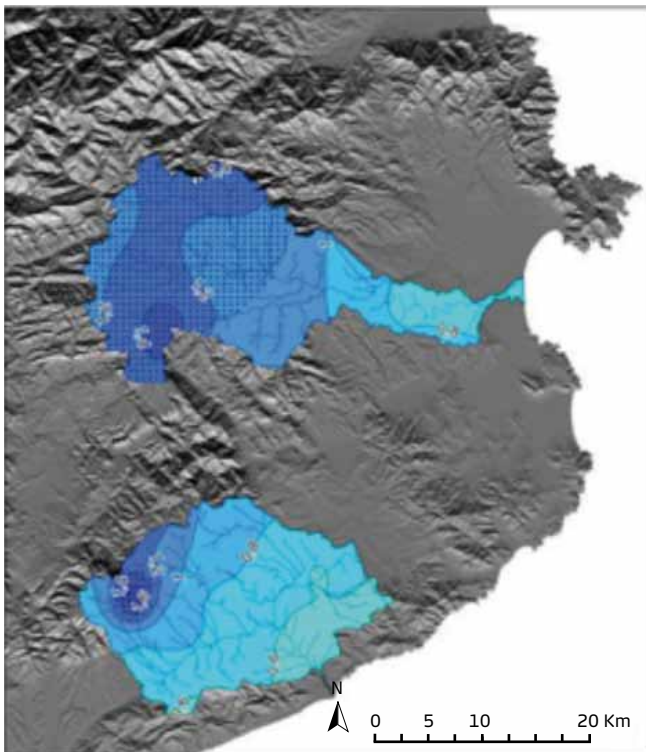


Tendència de la precipitació estival en mm/any per al període 1951-2000.
 ::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

Figura 15. Distribució espacial de la tendència de precipitació estival a la conca del Siurana per al període 1951-2000.

en aquesta estació, ja que la seva fase negativa està vinculada a la presència d'anticiclons centreeuropeus (Lopez-Bustins et al., 2008). Aquesta tendència és consistent amb el fet que la conca Fluvià sigui l'única amb un ascens significatiu de la precipitació al mes de gener, perquè és en aquella conca de les tres on la WeMO té una influència per sobre de la NAO (Taula 3).

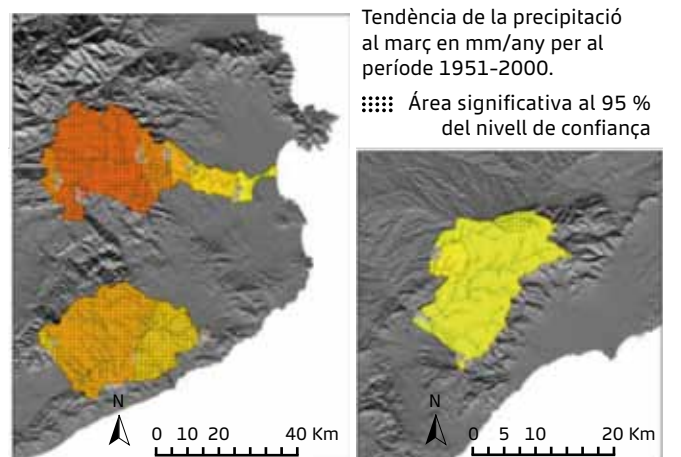
Al llarg de la segona meitat del segle XX no hem detectat canvis en la irregularitat pluviomètrica anual a les conques d'estudi (Taula 5). A nivell estacional, hi ha hagut un augment notable a l'hivern i a l'estiu, sobretot, a les conques de la Tordera i del Siurana. Aquest augment hivernal pot estar vinculat a un augment d'episodis de precipitació intensa a la façana oriental de la Península Ibèrica segons el que s'ha esmentat en l'apartat anterior. A l'estiu, hi ha hagut una reducció de la precipitació a les conques d'estudi, sobretot al Siurana, que podria justificar aquest augment del CV en aquesta estació de l'any. A la primavera i a la tardor s'han donat un descens del CV a totes les conques d'estudi.



Tendència de la precipitació al gener en mm/any per al període 1951-2000.
 ::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

Figura 16. Distribució espacial de la tendència de precipitació del mes de gener a les conques del Fluvià i la Tordera per al període 1951-2000.

Els calendaris pluviomètrics ens permeten detectar ràpidament aquells canvis en la estacionalitat de la precipitació que no són perceptibles a resolució anual. Es detecta un augment de la importància de la precipitació primaveral (a excepció del mes de març) en detriment de les pluges tardorenques. En les tendències de la Taula 4 no es detectava una significació en la davallada de la precipitació al mes de setembre, emperò en el calendari pluviomètric



Tendència de la precipitació al març en mm/any per al període 1951-2000.
 ::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

Figura 17. Distribució espacial de la tendència de precipitació del mes de març a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana per al període 1951-2000.

CV (en %)	Fluvià		Tordera		Siurana	
Subperíodes	1951-1975	1976-2000	1951-1975	1976-2000	1951-1975	1976-2000
Anual	24	23	26	26	29	25
Hivern	68	74	58	65	57	81
Primavera	45	42	47	45	59	45
Estiu	40	41	40	52	55	74
Tardor	52	41	48	41	59	57

	molt baix	baix	moderat	moderat-alt	alt	molt alt
Anual	<15	15-19	20-24	25-29	30-34	≥35
Estacional	<20	20-29	30-39	40-49	50-59	≥60

Taula 5. Canvis en el CV de la precipitació a les conques d'estudi a la segona meitat del segle XX. (Els subperíodes temporals per a l'estació hivernal són 1951/52-1975/76 i 1976/77-1999/00, 25 i 24 anys respectivament).

es percep un descens força contundent, sobretot, a la conca del Siurana (Figura 18). Es manté una equinoccialitat de la distribució temporal de les precipitacions, però més equilibrada entre ambdues estacions (primavera i tardor). El descens de precipitació estival no es tan palès com en la taula de tendències. L'augment de la precipitació en el moment central de l'hivern en detriment dels totals del mes de març es visualitza clarament en el calendari de les tres conques.

Es considera un episodi extrem de torrencialitat aquells superiors als 200 mm en 24 h (Gázquez et al., 2004). En aquest darrer treball es feu un inventari dels episodis ocorreguts a Catalunya durant el període 1951-2000 i en catalogaren 26. Per tant, el període de retorn d'aquests episodis a Catalunya és de 2 anys aproximadament. Mentre al País Valencià, amb característiques pluviomètriques més mediterrànies, la seva recurrència és d'un per any (López-Bustins, 2004).

A les conques d'estudi al llarg del període 1951-2000 tingueren lloc 7 dels 26 episodis catalogats. Les conques més afectades per aquests fenòmens adversos són el Fluvià i la Tordera. Mentre la conca del Siurana només fou afectada per un, tot i que va ser el més extremat dels set (Taula 6). Els episodis més antics es registraren a la conca de la Tordera, als corredors prelitorals. Les precipitacions torrencials de l'octubre de 1962 i l'abril de 1969 coincidiren amb grans avingudes de la Tordera. En el primer cas el riu es desbordà al seu pas per Tordera, i en el segon el riu assolí un cabal instantani de 500 m³/s a Can Serra (municipi de Tordera) (ACA, 2002). Les precipitacions

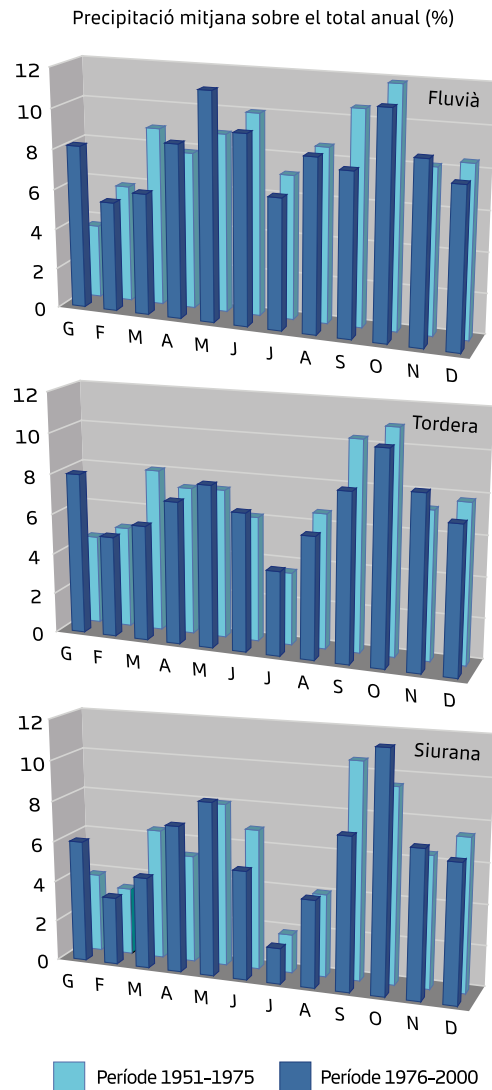


Figura 18. Calendaris pluviomètrics dels subperíodes 1951-1975 i 1976-2000 de les conques d'estudi a partir de les sèries de precipitació de la Figura 10. Es calcula el pes del total pluviomètric de cada mes sobre el total anual en %.

Episodis	Fluvià	Tordera	Siurana
21-09-1959	-	Gualba de Dalt (230.0 mm)	-
11-10-1962	-	Sils (223.0 mm)	-
04-04-1969	-	Sant Celoni (219.2 mm)	-
16-02-1982	Olot (201.0 mm)	-	-
12-11-1988	Castellfollit de la Roca (247.3 mm)	-	-
10-10-1994	Beuda (245.0 mm)	-	Cornudella de Montsant (397.0 mm)
12-11-1999	Castellfollit de la Roca (233.5 mm)	-	-

Taula 6. Llistat dels 7 episodis de precipitació superior als 200 mm en 24 h a les conques d'estudi durant el període 1951-2000. S'indica el registre màxim de precipitació i la seva localització dins la conca.

extremadament torrencials mesurades a la conca del Fluvià són força recents, i totes elles tingueren lloc a la part mitja-alta de la conca, a la Garrotxa.

Aquests episodis tenen una clara concentració temporal a la tardor, concretament a l'octubre. El calendari de la WeMO assenyala la primera quinzena d'octubre com la més probable en l'ocurrència d'aquests episodis perquè és el moment de l'any en què la WeMO es troba en la seva fase més negativa (Figura 19). Aquest calendari d'aquest índex de teleconnexió justifica perquè la primera quinzena d'octubre acumula amb diferència el major nombre de casos amb precipitació extremadament torrencial a Catalunya i a les conques d'estudi. Per tant, s'haurà de tenir en compte la vulnerabilitat de les conques al mes d'octubre davant la probabilitat més elevada en l'ocurrència d'aquests fenòmens meteorològics adversos.

L'episodi del 10 d'octubre de 1994 fou el que afectà més directament a les conques del projecte

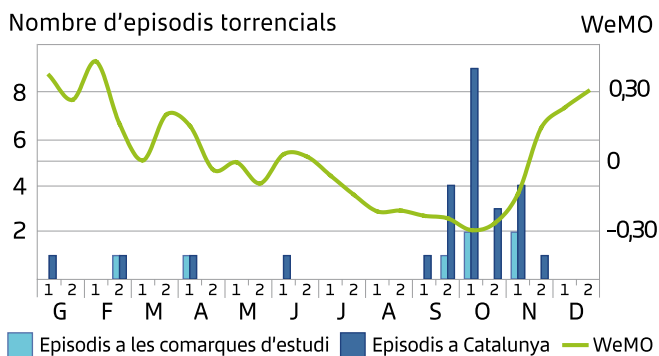
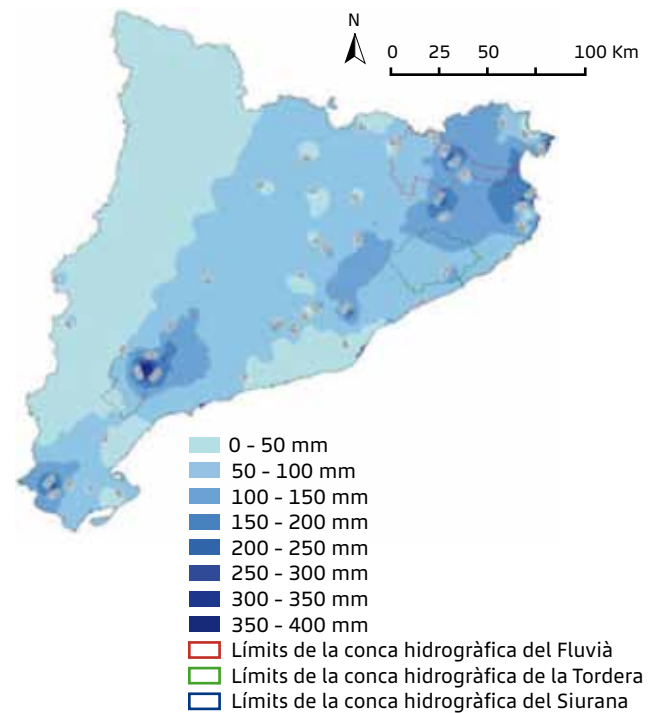


Figura 19. Calendari de la WeMO per quinzenes a partir dels valors diaris de l'índex (eix d'ordenades secundari). Distribució temporal per quinzenes dels 24 episodis extrems de torrencialitat (>200 mm en 24 h) ocorreguts a Catalunya i els 7 que afectaren a les conques d'estudi (eix d'ordenades principal).



500 hPa Geopotential (gpdm) und Bodendruck (hPa)

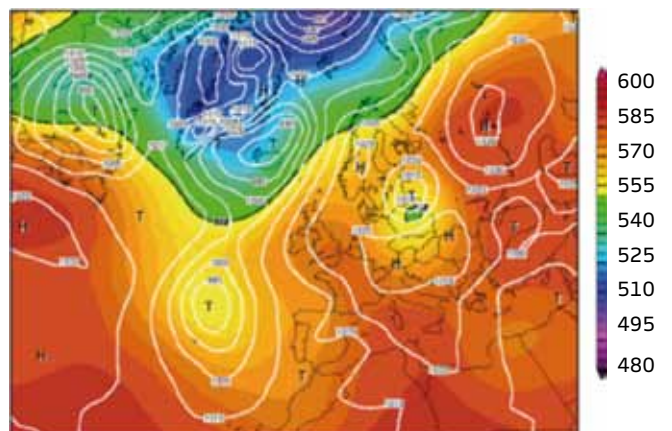


Figura 20. (Dalt) Distribució espacial de la precipitació acumulada el 10 d'octubre de 1994 a Catalunya. (Baix) Mapa sinòptic de superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa del 10 d'octubre de 1994.

ACCUA. La conca del Siurana registrarà gairebé 400 mm en 24 h al voltant de la zona del embassament de Siurana. Aquest episodi concentrà les seves precipitacions als relleus prelitorals de Catalunya, on es troben les 3 conques. Les precipitacions al tram mig del Fluvià també superaren amb escreix els 200 mm. A la conca de la Tordera no se superaren els 200 mm però un àrea important de la seva part septentrional sobrepassaren els 100 mm (Figura 20, dalt). Aquest episodi és representatiu de la primera quinzena d'octubre i de la fase negativa de la WeMO. Aquesta fase es caracteritza per vents humits i càlids del SE, injectats per la localització d'altres pressions a Europa Central i baixes pressions al Golf de Cadis (Figura 20, baix).

2.1.4. Sèries climàtiques contínues

Els apartats anteriors han mostrat una anàlisi de la precipitació i temperatura de les conques així com de les seves tendències recents. Aquesta anàlisi s'ha fet a partir de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya, que dona un valor promig mensual de la variable climàtica en un píxel de 180 m x 180 m pel període 1951-1999.

En canvi, avaluar l'efecte de clima en la disponibilitat d'aigua requereix de dades més precises i sèries diàries llargues que permetin simular els processos implicats en la dinàmica de l'aigua a la conca. Amb aquest objectiu, s'ha de fixar un període de referència o calibració amb prou dades, amb quantitat i qualitat suficients, tant de les variables climàtiques com de sèries d'aforament. Després de revisar les dades disponibles a les tres conques, s'ha seleccionat el període 1984-2008 (25 anys) com a referència. Les sèries climàtiques s'han revisat per avaluar la seva qualitat i trobar forats de dades. Les sèries s'han completat a partir d'un mètode estadístic incorporat al model SWAT (Soil and Water Assessment Tool), que ha estat el model escollit per estudiar la hidrologia de les conques. SWAT és un programa de modelització hidrològica semidistribuït desenvolupat per l'USDA (United States Department of Agriculture) adient per fer simulacions contínues i distribuïdes del balanç hídric. A més a més, SWAT permet completar sèries climàtiques a partir d'estadístics i corregir les sèries per l'altitud. El model treballa a tres nivells espacials: conca, subconques (unitats més petites amb característiques similars principalment en

orografia) i unitats de resposta hidrològica (HRU, que són unitats homogènies quant a tipus de sòl, coberta del sòl i pendent). SWAT modelitza a cada nivell en funció del procés requerit, per exemple, l'estimació de l'evapotranspiració real es fa a nivell d'HRU, ja que depèn del tipus de coberta, mentre que l'evapotranspiració potencial es fa a nivell subconca, ja que les variables climàtiques varien principalment amb l'orografia.

Les dades de partida han estat les sèries meteorològiques de les estacions de l'AEMET presents a les conques. Aquestes sèries s'han completat a partir d'estadístics de les pròpies sèries (valors promitjos, probabilitat de dies secs, desviació estàndard, etc.), i de les sèries del SMC, més completes pel que fa al número de variables (en general, les estacions de l'AEMET mesuren únicament precipitació i temperatura mentre que les del SMC mesuren també radiació, vent i humitat).

Les dades de les estacions climàtiques són valors puntuals, és a dir, valors per un punt concret de l'espai, mentre que per avaluar el balanç hídric a nivell de conca es necessita conèixer la precipitació o la temperatura de tota la seva superfície. Per aquest procés, hi ha diferents mètodes d'interpolació que permeten distribuir de manera heterogènia la precipitació que cau dins d'una conca: mitjana aritmètica, Thiessen, isohietes, ... També s'ha de tenir en compte l'efecte de l'orografia sobre les variables climàtiques, ja que la major part de les sèries disponibles es troben en les valls i parts baixes de les conques. Aquest fet provoca que les estacions subestimen el valor total de precipitació de la conca perquè no contemplen les zones de capçalera (de major altitud) que són les més plujoses. Es pot posar com exemple l'estació de la Vall d'en Bas, que atenent a l'atles digital climàtic, presenta valors promitjos de la precipitació anual d'entre 1000-1100 mm, mentre que a la capçalera es recullen valors de 1100-1300 mm.

La correcció per l'altitud s'ha fet a partir de les dades de precipitació i temperatura de l'atles climàtic digital (resolució espacial 180m x 180m) i l'elevació del Model d'Elevacions del Terreny de Catalunya (30m x 30m). Per cada píxel de les conques, s'ha recollit el valor de precipitació / temperatura i elevació i s'ha estimat la regressió lineal que expliqui el canvi de cada variable (mm o °C) per

cada 1000 m de pujada d'altitud. La Taula 7 recull la regressió lineal, el coeficient de determinació (R²) i l'increment de la variable per cada 1000 m d'altitud:

Variables	Regressió lineal	R ²	Increment (mm/°C per 1000 m)
Conca Fluvià			
Precipitació	$P = 776.80 + 0.407 \cdot h$	0.77	40.69 mm
Temperatura	$T = 15.15 - 0.0049 \cdot h$	0.99	- 0.49 °C
Conca Tordera			
Precipitació	$P = 731.96 + 0.25 \cdot h$	0.89	24.98 mm
Temperatura	$T = 15.73 - 0.0054 \cdot h$	0.98	- 0.54 °C
Conca Siurana			
Precipitació	$P = 460.88 + 0.245 \cdot h$	0.76	24.46 mm
Temperatura	$T = 15.738 - 0.0504 \cdot h$	0.82	-0.50 °C

Taula 7. Relació entre precipitació i temperatura i canvis altitudinals per cada conca.

A partir de la correcció per l'altitud, s'ha obtingut informació cartogràfica diària de cada variable climàtica per subconca pel període de referència (1984-2008). Les zones més plujoses es troben a les capçaleres de Fluvià i Tordera, mentre que el Siurana és la conca més àrida. Les temperatures més elevades es donen als trams finals de les conques (Taula 8, Figura 21, Figura 22)

Conca	Precipitació	Temp. mitjana	Temp. màxima	Temp. mínima
Fluvià	993.82	13.00	19.23	6.76
Tordera	748.04	14.12	20.24	8.00
Siurana	529.84	14.97	20.35	9.58

Taula 8. Valors promitjos per conca de les principals variables climàtiques pel període 1984-2008.

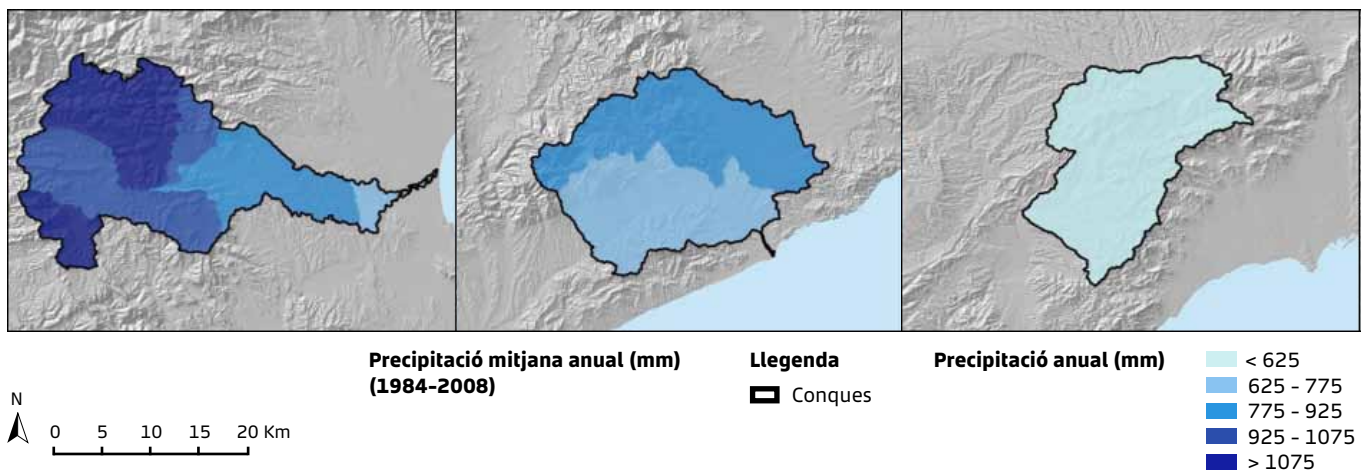


Figura 21. Distribució espacial de la precipitació pel període 1984-2008. Les zones més plujoses són les capçaleres del Fluvià i la Tordera, mentre que al Siurana plou menys de 625 mm a l'any.

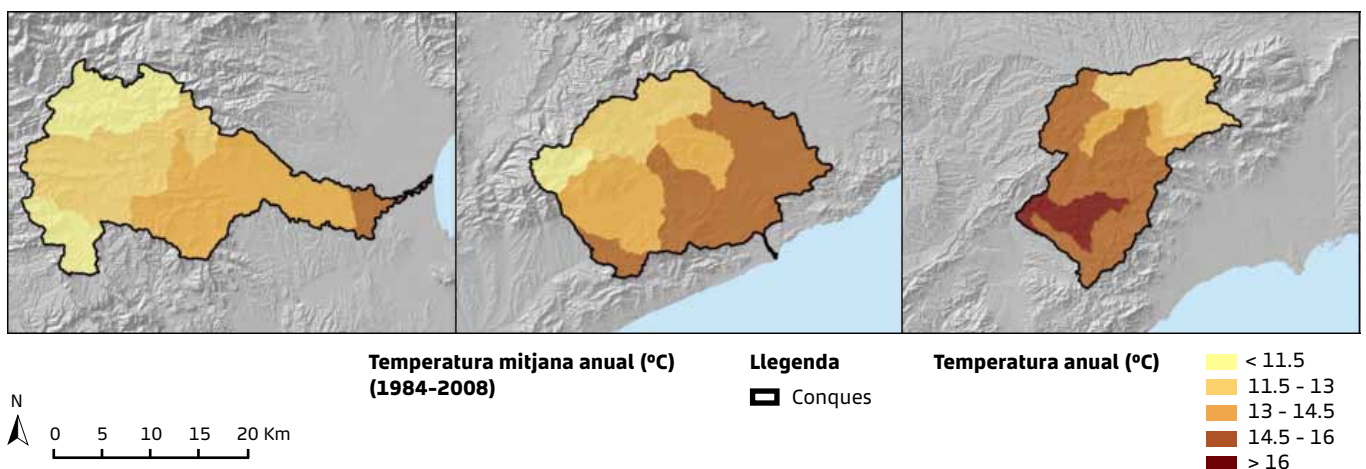


Figura 22. Distribució espacial de la temperatura mitjana pel període 1984-2008. Les temperatures més elevades es registren a la part baixa del Siurana i les més baixes a les capçaleres de les tres conques.

2.1.5. Evapotranspiració potencial

L'evapotranspiració es defineix com la quantitat d'aigua que passa de fase sòlida o líquida a gas i que inclou l'evaporació de les masses d'aigua i del sòl, la transpiració de les plantes i la sublimació del gel o la neu. En la seva quantificació s'utilitzen dos conceptes: evapotranspiració potencial i real. L'evapotranspiració potencial (ETP) és la màxima quantitat d'aigua que torna a l'atmosfera en forma de vapor a partir d'un sòl completament cobert de vegetació, en condicions òptimes i suposant que no hi ha limitació d'aigua al sòl, és a dir, que hi ha plena disponibilitat hídrica. L'evapotranspiració real (ETr) és la quantitat d'aigua que realment s'evapora en condicions normals i que depèn de la quantitat d'aigua disponible al sòl.

L'evapotranspiració constitueix un component molt important del cicle hidrològic, que pot arribar a representar una pèrdua elevada del total d'aigua que plou en una zona. Per la seva estimació, es poden fer servir mètodes directes, a partir de lisímetres i evapotranspiròmetres, o mètodes empírics, aplicant les fórmules desenvolupades per Thornthwaite, Blaney-Criddle, Turc, Penman, etc.

En aquest projecte s'ha fet servir l'aproximació de Penman-Monteith, metodologia molt exacta però que requereix d'un gran nombre de variables d'entrada. La fórmula de Penman-Monteith combina el balanç energètic amb el mètode de transferència de masses i estima

l'evapotranspiració a partir de variables climàtiques estàndards com la radiació solar, la temperatura, la humitat i la velocitat del vent. La equació per estimar l'evapotranspiració potencial és:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

on ET és el calor latent d'evaporació ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), és el pendent de la corba de pressió de vapor versus la temperatura ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), R_n és la radiació neta ($\text{MJ/m}^2/\text{dia}$), G és el flux de calor del sòl ($\text{MJ/m}^2/\text{dia}$), ρ_a és la densitat atmosfèrica (kg m^{-3}), c_p és el calor específic de l'aire a pressió constant ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), $(e_s - e_a)$ és el dèficit de pressió de vapor (kPa), r_a és la resistència aerodinàmica (s m^{-1}), r_s és la resistència evaporativa de la coberta vegetal (s m^{-1}), γ és una constant psicomètrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

L'estimació de l'evapotranspiració potencial pel mètode Penman-Monteith s'ha efectuat amb el model hidrològic SWAT, que permet escollir entre les aproximacions de Hargreaves, Priestley-Taylor i Penman-Monteith. El model estima un valor d'evapotranspiració potencial diària per subconca hidrològica. La conca del Siurana presenta els valors de demanda evaporativa més elevats (1300 mm de promig), en tractar-se de la conca més càlida. El Fluvià i la Tordera presenten valors més baixos, de 820 i 931 mm respectivament (Figura 23).

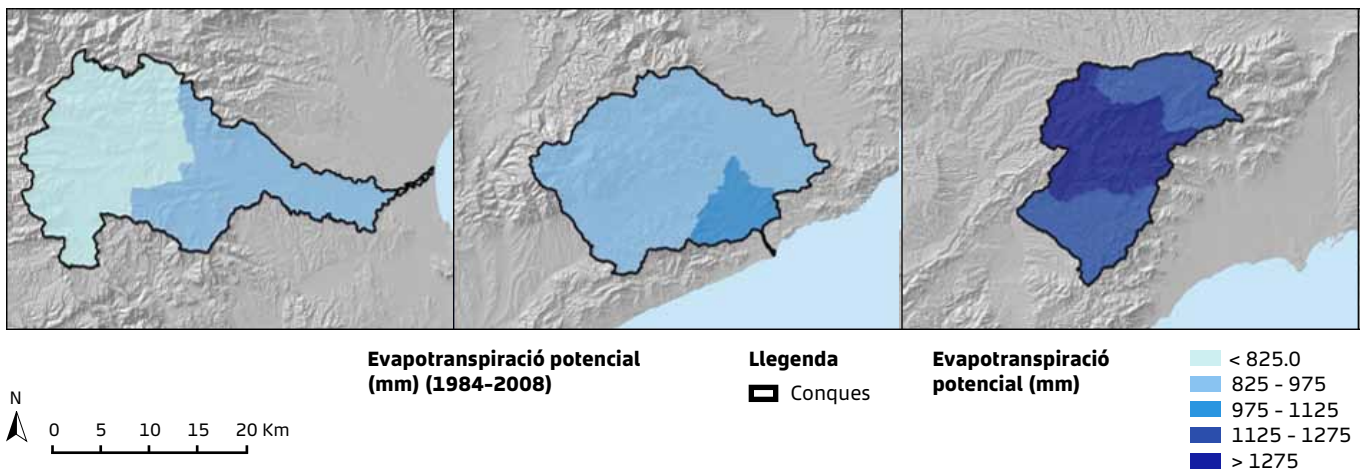


Figura 23. Distribució espacial de l'evapotranspiració potencial (mm) pel període 1984-2008. Els valors de demanda evaporativa més elevats s'observen en el tram mig del Siurana. El Fluvià és la conca amb menor demanda evaporativa.

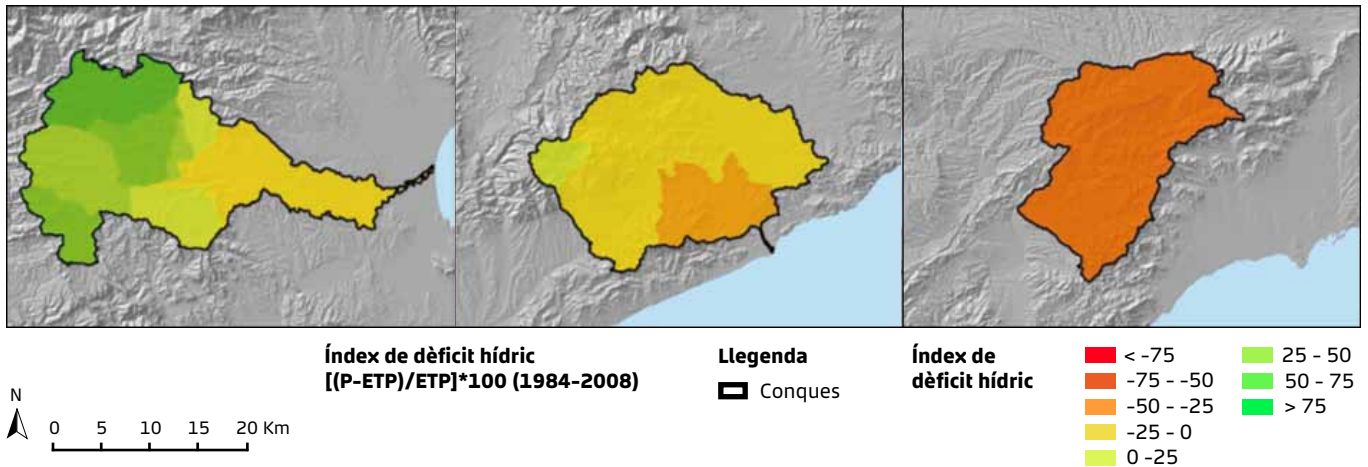


Figura 24. Distribució espacial de l'índex de dèficit hídic (%) pel període 1984-2008. Aquest índex relaciona l'aigua disponible (P) amb la demanda evaporativa de la vegetació. Valors negatius indiquen dèficit hídic.

L'índex de dèficit hídic relaciona la disponibilitat d'aigua a la conca (precipitació, P), amb la demanda evaporativa potencial de la mateixa (evapotranspiració potencial, ETP), a través de l'equació:

$$((P-ETP)/ETP)*100$$

Valors positius (capçalera del Fluvià) indiquen que la disponibilitat d'aigua supera les demandes evaporatives potencials i que, per tant, hi ha aigua suficient per satisfer les demandes de la vegetació, depenent de l'aigua al sòl. Valors negatius (tot Siurana i Tordera i tram baix del Fluvià) indiquen una limitació en la disponibilitat d'aigua (Figura 24).

2.1.6. Evapotranspiració real

L'evapotranspiració real (ET_r) és la quantitat d'aigua que realment s'evapora en condicions normals i que depèn tant de la quantitat d'aigua disponible al sòl com de la coberta vegetal (índex d'àrea foliar). Aquesta variable està fortament influïda per la permeabilitat del sòl (textura, matèria orgànica, capacitat de camp, etc.) i el tipus de coberta (bosc, matollar, prat, conreu, impermeable).

L'estimació de l'evapotranspiració real s'ha efectuat amb el model hidrològic SWAT. En primer lloc, SWAT estima la quantitat d'aigua interceptada per

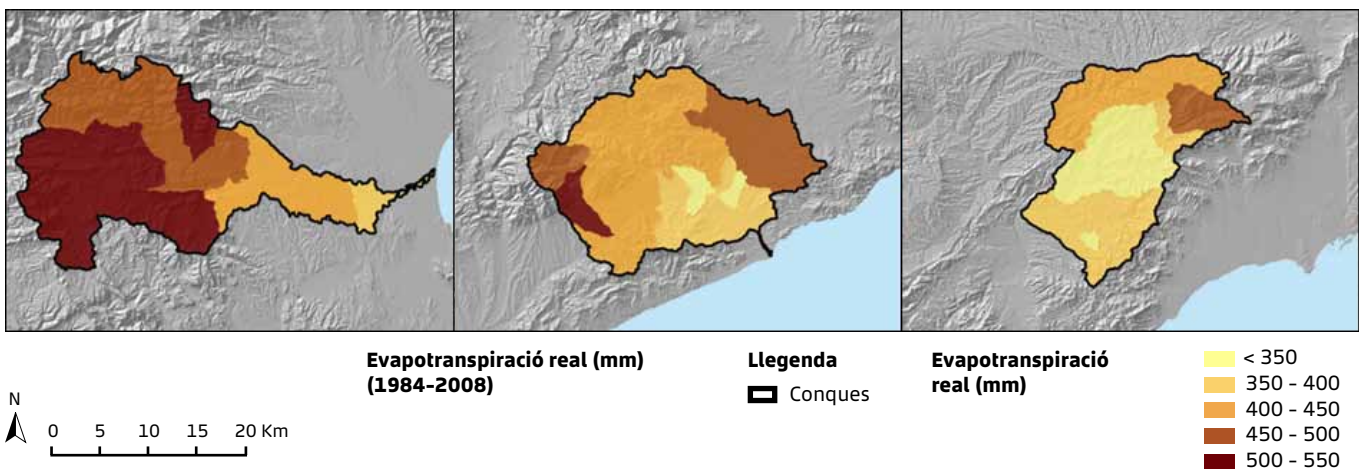


Figura 25. Distribució espacial de l'evapotranspiració real (mm) pel període 1984-2008. Els valors de demanda evaporativa real més elevats s'observen a la capçalera del Fluvià.

la coberta vegetal. A continuació estima la màxima quantitat d'aigua transpirada per la vegetació i sublimada o evaporada del sòl segons l'aproximació de Ritchie (1972). Per últim, estima l'aigua sublimada, evaporada i transpirada actual (o real) en funció de l'aigua disponible al sòl. SWAT genera valors d'ETr per cada tipus de coberta vegetal, però a la Figura 25 s'ha estimat un valor promig per subconca. Els valors més elevats s'observen a la capçalera del Fluvià que coincideix amb la zona més plujosa de les tres conques, mentre que els valors més baixos s'obtenen a la conca mitja del Siurana. En promig, SWAT ha estimat un valor de 480, 420 i 360 mm pel Fluvià, Tordera i Siurana respectivament pel període de referència (1984-2008).

2.1.7. Índex de sequera meteorològic

La sequera com a fenomen climàtic típic de les nostres latituds té una implantació lenta podent-se estendre per amplis territoris. Les sequeres fortes tenen forma de "triangle" en les gràfiques perquè són aquelles que tenen una lenta implantació i una ràpida retirada.

Podem trobar diferents tipus de sequeres o nivells. Es pot parlar de sequera meteorològica o climàtica (davallada de la precipitació a causa d'una variabilitat natural), sequera agrícola (dessecació de sòls podent afectar als diferents cultius), sequera hidrològica (reducció dels cursos d'aigua, nivell dels embassaments, llacs, aiguamolls...) i sequera socioeconòmica (moment en què els mitjans de comunicació ho notifiquen i ho transmeten a la població perquè es produeixen impactes evidents en l'economia, la societat i el medi). Puntualment, es parla de sequera hidrogeològica o piezomètrica si es tracta dels nivells dels aqüífers.

Hi ha una sèrie d'índexs, basats principalment en dades de precipitació, que permeten avaluar i quantificar la intensitat, la magnitud i la duració de les sequeres meteorològiques i són: percentatges respecte a la precipitació mitjana (Percent of Normal), càlcul de decils (Deciles), l'índex de precipitació estandaritzat (Standardized Precipitation Index, SPI) i l'índex de severitat de Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI). Els

Índex de precipitació estandaritzat (SPI)

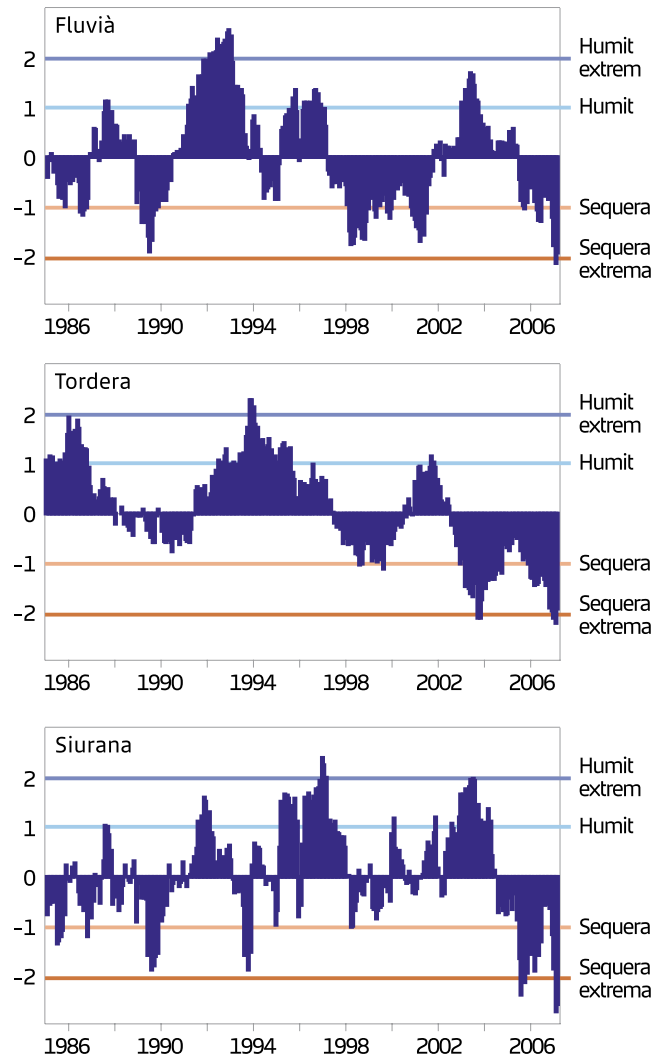


Figura 26. Evolució del SPI a les tres conques d'estudi pel període 1984-2008

dos darrers són els més emprats i reconeguts per estudiar les sequeres meteorològiques. Tots aquests índexs es calculen a resolució mensual perquè permeten avaluar millor l'evolució de les sequeres meteorològiques. A nivell diari es poden estudiar les ratxes seques mitjançant les Cadenes de Markov.

Les sequeres hidrològiques s'han d'avaluar amb els cabals dels rius o els nivells dels embassaments, no estrictament amb la pluviometria. D'altra banda, les sequeres socioeconòmiques vénen condicionades per aquella sensació de sequera que es pot produir a causa d'una desorbitada demanda mentre la pluviometria no té perquè ser molt inferior a la

normal. Aquesta sequera no ve condicionada estrictament pels dèficits pluviomètrics, sinó més aviat per la demanda i gestió del recurs, és el que sovint es coneix com a *water scarcity*.

S'ha seleccionat l'índex de precipitació estandarditzat (SPI) per estimar la sequera meteorològica de les tres conques. Aquest índex es basa en la probabilitat acumulada deduïda a partir d'ajustar una distribució gamma a tota la sèrie de precipitació mensual. Si els valors de SPI són superiors/inferiors a +1,5/-1,5 és un període humit/sec, i si els valors són més enllà de +2,0/-2,0 és un període extremadament humit/sec. El SPI actua al mateix temps com a suavitzador de la sèrie ja que calcula els valors en grups de 3, 6, 12, 24 o 48 mesos. Per a un període llarg d'estudi, com serà el cas quan analitzem l'evolució de la sequera amb el canvi climàtic (1984-2100) és més visual l'agregació temporal de 24 mesos. La Figura 26 mostra els valors de SPI per les tres conques. En totes tres s'observa una alternança de períodes humits i secs, ressaltant un període molt humit entre 1991 i 1997 i un altre període extremadament sec al final de la sèrie.

Aquests resultats es poden contrastar amb el registre de sequeres socioeconòmiques constatades a Catalunya segons l'informe de l'ACA "La situació actual d'excepcionalitat en el context històric". Segons aquest informe, en els següents anys s'ha estat a punt o s'ha hagut de restringir l'ús de l'aigua:

- Anys 1985-86: descens continuat de les reserves molt important que va deixar l'abastament de Barcelona a només 3 mesos d'iniciar restriccions.
- Anys 1988-89: dos anys consecutius secs i sense treva fan assolir mínims absoluts de les reserves als embassaments d'Aiguës Ter – Llobregat, es va estar a pocs dies d'iniciar restriccions a Barcelona.
- Anys 1999-2003: successió d'anys secs que tot i no ser excepcionals, creen diversos episodis d'alerta amb la promulgació de fins a tres Decrets de Sequera (Decret 94/1999, de 6 d'abril, Decret 168/2000, de 2 de maig i Decret 22/2002, de 22 de gener).

- Any 2005: la seva intensitat va ser excepcional igual, almenys, a la del 1944-45 que es considerava habitualment com a cas extrem de referència, a bona part de Catalunya. Es van promulgar tres Decrets de Sequera (Decret 93/2005 de 17 de maig, Decret 187/2005 de 6 de setembre i Decret 207/2005 de 27 de setembre).
- Any 2007-2008: nova situació de precarietat hidrològica, en un context semblant al de l'any 2005. Es van promulgar tres Decrets de Sequera (Decret 84/2007, de 3 d'abril, Decret 257/2007, de 27 de novembre, Decret 108/2008, de 15 de maig) i va durar fins a l'inici de 2009.

Tenint en compte que la sequera socioeconòmica no està condicionada estrictament per una baixa pluviometria sinó per la gestió del recurs, sí que s'observa una similitud entre les sequeres constatades i els resultats obtinguts, més evident al final del període de referència.

2.2. Com és el territori?

Roger Milego. ETC-LUSI

Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.

Javier Retana, Jaume Terradas. CREAM

2.2.1. Les cobertes del sòl: situació actual i canvis recents

2.2.1.1. Cartografia europea: Corine Land Cover

Entre els anys 1985 i 1990, la Comissió Europea va dur a terme el Programa CORINE ("Coordination of Information on the Environment"). En aquest període, es creà un sistema d'informació sobre l'estat del medi ambient i es van desenvolupar i acordar metodologies a nivell de la UE. D'allò va romandre el projecte CORINE Land Cover (CLC), que ha estat implementat en tots els països de la UE, així com altres països de l'Europa Central i de l'Est.

Després de la publicació i utilització del primer inventari del CLC (CLC1990), molts usuaris varen

expressar la necessitat d'una actualització, i així es va llançar el projecte IMAGE&CLC2000. Així, es va produir la nova base de dades CLC2000, es varen rectificar errors del CLC1990 i es van calcular els canvis entre totes dues bases de dades.

La tria d'una escala de 1:100 000, una unitat mínima mapificada de 25 ha i una amplada mínima de 100 m per als elements lineals, va ser un compromís entre el cost de producció i un bon nivell de detall per a les cobertes del sòl a nivell europeu. Aquests paràmetres s'han mantingut tant per al CLC1990, el CLC2000 i la CLC2006, darrera base de dades actualment en preparació (en breu disponible). Val a dir que, en el cas del CLC1990, la data de presa de dades diferia bastant entre països, i, en el cas de l'Estat espanyol, les dades presents corresponen a 1986.

Les classes de cobertes, a nivell 3, del Corine Land Cover es poden veure a la següent taula:

CODI Nivell 3	Descripció Nivell 3
1.1.1	Teixit urbà continu
1.1.2	Teixit urbà discontinu
1.2.1	Zones industrials o comercials
1.2.2	Xarxa viària, ferroviària i terrenys associats
1.2.3	Zones portuàries
1.2.4	Aeroports
1.3.1	Zones d'extracció minera
1.3.2	Abocadors
1.3.3	Zones en construcció
1.4.1	Zones verdes urbanes
1.4.2	Instal·lacions esportives i recreatives
2.1.1	Agricultura de secà
2.1.2	Agricultura de regadiu
2.1.3	Arrossars
2.2.1	Vinya
2.2.2	Fruiters
2.2.3	Oliveres
2.3.1	Pastures
2.4.1	Conreus anuals associats amb conreus permanents
2.4.2	Mosaic de conreus
2.4.3	Terrenys principalment agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals
2.4.4	Sistemes agroforestals
3.1.1	Bosc de frondoses
3.1.2	Bosc de coníferes

CODI Nivell 3	Descripció Nivell 3
3.1.3	Bosc mixtos
3.2.1	Pastures naturals
3.2.2	Landes i matollars
3.2.3	Vegetació escleròfil·la
3.2.4	Transició matollar-bosc
3.3.1	Platges, dunes i sorres
3.3.2	Roquissars
3.3.3	Espais amb vegetació escassa
3.3.4	Àrees cremades
3.3.5	Glaceres i neus perpètuas
4.1.1	Zones humides
4.1.2	Torberes
1.1.1	Teixit urbà continu
1.1.2	Teixit urbà discontinu
1.2.1	Zones industrials o comercials
1.2.2	Xarxa viària, ferroviària i terrenys associats
1.2.3	Zones portuàries

Taula 9. Llegendes del Corine Land Cover nivell 3

En el cas dels canvis, la unitat mínima mapificada baixa a les 5 hectàrees. La Taula 10 mostra com es distribueixen les grans categories de cobertes del sòl segons la base de dades CLC2000 per a cadascuna de les tres conques d'estudi:

Coberta Conca	Vegetació natural	Conreus i pastures	Artificial	Altres
Fluvià	72%	27%	1%	0%
Tordera	76%	17%	7%	0%
Siurana	64%	35%	0%	0%

Taula 10. Percentatges grans categories (nivell 1) CLC2000 per conca

La conca de la Tordera és proporcionalment la conca amb més vegetació natural, per bé que també és la conca amb més superfície artificial (7,1%) i menys conreus (16,5%) de les tres. La conca del Siurana, en canvi, és la conca a on l'agricultura és més present (35%) mentre que la vegetació natural baixa fins al 64,4%. És, així mateix, la conca menys urbanitzada de les 3 (0,3%). La conca del Fluvià és en proporció més agrícola que la de la Tordera (26,9% respecte 16,5%), però menys que la del Siurana (35,0%).

Les tres taules següents mostren la superfície i percentatge detallat de les diferents categories de

cobertes del sòl a partir de les dades del CLC2000 al nivell 3 (en groc s'han destacat les classes que superen l'1% de recobriment):

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Boscos de frondoses	46728	47.99
Boscos de coníferes	13748	14.12
Agricultura de secà	10697	10.99
Agricultura de regadiu	7423	7.62
Transició matollar-bosc	4034	4.14
Mosaic de conreus	3540	3.64
Boscos mixtos	3362	3.45
Terrenys principalment agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals	3294	3.38
Pastures naturals	1235	1.27
Teixit urbà continu	834	0.86
Vegetació escleròfil·la	711	0.73
Pastures	670	0.69
Fruiters	597	0.61
Teixit urbà discontinu	157	0.16
Cursos d'aigua	85	0.09
Landes i matollars	74	0.08
Platges, dunes i sorres	54	0.06
Zones d'extracció minera	48	0.05
Maresmes	43	0.04
Zones industrials o comercials	33	0.03
Instal·lacions esportives i recreatives	6	0.01

Taula 11. Superfícies i percentatges de cobertes segons CLC2000 (nivell 3) al Fluvià

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Boscos de frondoses	29824	34.47
Boscos de coníferes	14716	17.01
Boscos mixtos	9911	11.45
Vegetació escleròfil·la	7502	8.67
Agricultura de secà	7214	8.34
Teixit urbà discontinu	4295	4.96
Terrenys principalment agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals	3945	4.56
Transició matollar-bosc	3002	3.47
Agricultura de regadiu	2341	2.71
Teixit urbà continu	1354	1.56
Mosaic de conreus	724	0.84
Pastures naturals	525	0.61
Landes i matollars	408	0.47

Taula 12. Superfícies i percentatges de cobertes segons CLC2000 (nivell 3) a la Tordera

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Zones industrials o comercials	329	0.38
Cursos d'aigua	187	0.22
Instal·lacions esportives i recreatives	76	0.09
Fruiters	71	0.08
Zones d'extracció minera	64	0.07
Zones en construcció	29	0.03
Platges, dunes i sorres	5	0.01

Taula 12. Superfícies i percentatges de cobertes segons CLC2000 (nivell 3) a la Tordera

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Boscos de coníferes	17196	27.98
Transició matollar-bosc	9057	14.74
Mosaic de conreus	9036	14.70
Terrenys principalment agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals	7530	12.25
Vegetació escleròfil·la	7308	11.89
Boscos de frondoses	3014	4.90
Boscos mixtos	2947	4.80
Fruiters	2661	4.33
Vinya	1830	2.98
Agricultura de secà	303	0.49
Teixit urbà discontinu	134	0.22
Oliveres	127	0.21
Roquissars	116	0.19
Làmines d'aigua	105	0.17
Teixit urbà continu	43	0.07
Pastures naturals	27	0.04
Àrees cremades	14	0.02
Cursos d'aigua	1	0.00

Taula 13. Superfícies i percentatges de cobertes segons CLC2000 (nivell 3) al Siurana

A partir d'aquestes dades, podem afirmar que les conques d'estudis són principalment forestals, especialment en els casos del Tordera i el Fluvià, mentre que en el cas del Siurana hom troba més diversitat entre les cobertes naturals, que es reparteixen entre boscos de coníferes, matollars, vegetació escleròfil·la i una destacada presència de mosaic de conreus i espais naturals. Probablement per qüestió d'escala, la categoria agrícola més abundant al Siurana és la de "mosaic de conreus" (14,7%), mentre que en les altres dues conques ho és l'"agricultura de secà" (11%, al Fluvià; 8,3%, a la

Tordera). En el cas del Fluvià, el regadiu segueix d'aprop al secà, amb un 7,6%, mentre que en el cas de la Tordera suposa un 2,7% i en el Siurana és inexistent. Cal ressaltar el 4,3% de "Fruiters" i el 3% de "Vinyes" en el cas de la conca del Siurana, mentre que a les altres dues conques no hi trobem vinyes i els fruiters representen proporcions molt menys significatives.

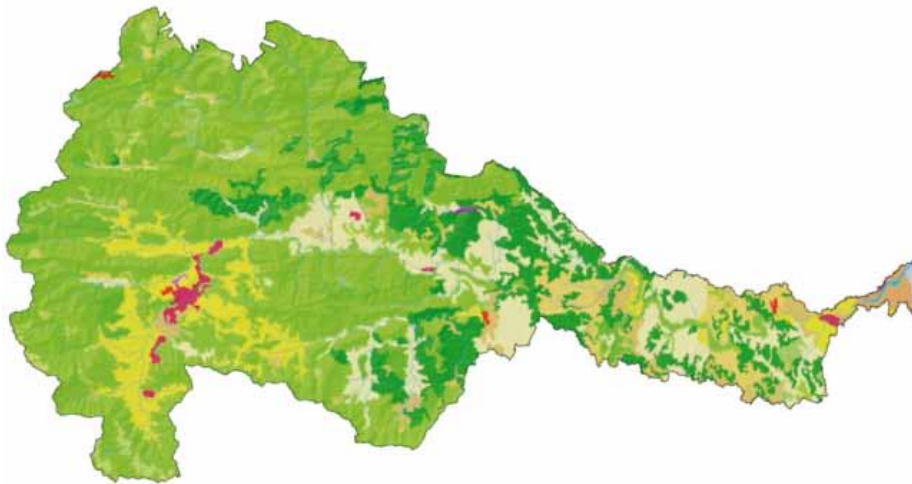
Tanmateix, cal tenir present el factor d'escala i considerar que es tracta d'una base de dades a nivell europeu que mapifica els polígons amb una superfície superior a les 25 hectàrees.

A continuació es mostren, en forma de mapes, les cobertes del sòl al nivell 3 segons el CLC2000 per a les tres conques d'estudi:

**Corine Land Cover 2000
Conca del Fluvià**

Llegenda

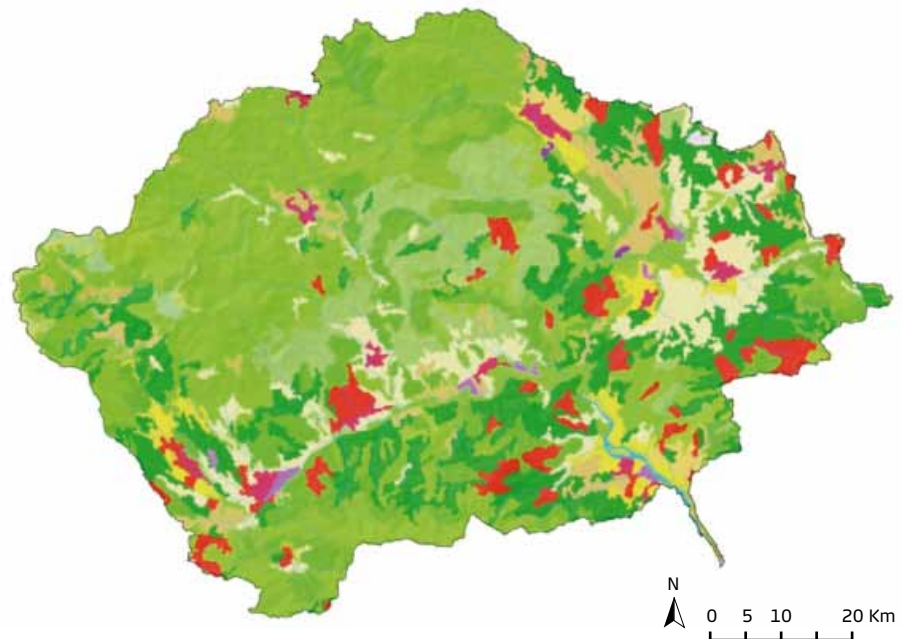
- Teixit urbà continu
- Teixit urbà discontinu
- Zones industrials o comercials
- Zones d'extracció minera
- Instal·lacions esportives i recreatives
- Agricultura de secà
- Agricultura de regadiu
- Fruiters
- Pastures
- Mosaic de conreus
- Terrenys princip. agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals
- Boscos de frondoses
- Boscos de coníferes
- Boscos mixtos
- Pastures naturals
- Landes i matollars
- Vegetació escleròfil·la
- Transició matollar-bosc
- Platges, dunes i sorres
- Maresmes
- Cursos d'aigua
- Xarxa hidrogràfica
- Límits de la conca



**Corine Land Cover 2000
Conca del Tordera**

Llegenda

- Teixit urbà continu
- Teixit urbà discontinu
- Zones industrials o comercials
- Zones d'extracció minera
- Instal·lacions esportives i recreatives
- Agricultura de secà
- Agricultura de regadiu
- Fruiters
- Pastures
- Mosaic de conreus
- Terrenys princip. agrícoles, amb presència significativa d'espais naturals
- Boscos de frondoses
- Boscos de coníferes
- Boscos mixtos
- Pastures naturals
- Landes i matollars
- Vegetació escleròfil·la
- Transició matollar-bosc
- Platges, dunes i sorres
- Maresmes
- Cursos d'aigua
- Xarxa hidrogràfica
- Límits de la conca



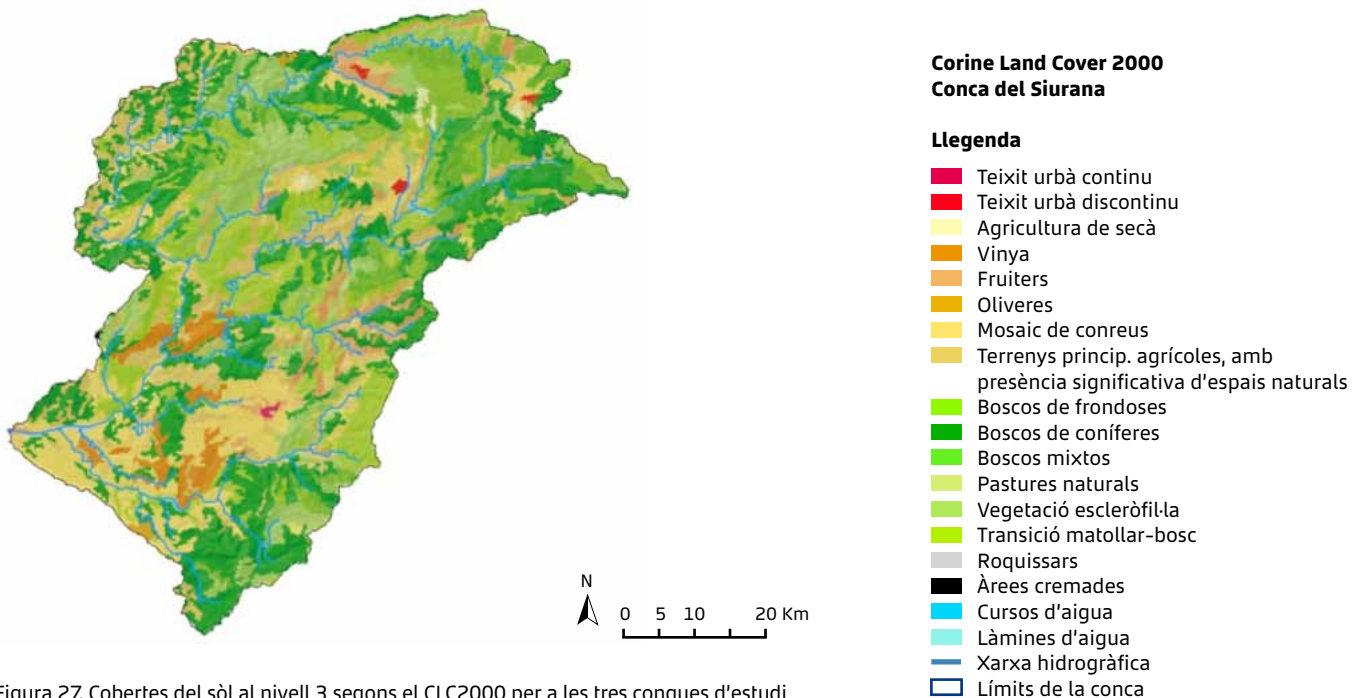


Figura 27. Cobertes del sòl al nivell 3 segons el CLC2000 per a les tres conques d'estudi

2.2.1.2. Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya

El Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (MCSC) és una cartografia temàtica d'alta resolució dels principals tipus de cobertes del sòl del país (boscos, conreus, zones urbanitzades, etc.) El MCSC es realitza al Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF). Gràcies al seu elevat detall, el MCSC és de gran interès per al coneixement del territori, però també per a la valoració de l'ocupació del sòl en cada lloc, tant des del punt de vista ecològic com econòmic.

El MCSC és un producte digital que comprèn els principals tipus de cobertes del sòl, amb una llegenda jeràrquica de 2 nivells i 1 subnivell per la primera edició del MCSC de 1993, de 3 nivells i 1 subnivell per la segona edició de 2000, i de 5 nivells i 1 subnivell per la tercera edició de 2005. Actualment, hi ha una edició de 2009 en procés de fotointerpretació. Tenint en compte la diferència de nivells entre les 3 versions existents, la comparació entre dates només és possible a nivell dos, si hi intervé la versió de 1993, i fins a nivell 3 quan comparem les versions de 2000 i 2005. A continuació es descriuen els tres nivells del MCSC:

El nivell 3 correspon a 61 categories, i el trobem en la segona i tercera edició del MCSC. Una part d'aquestes categories són subdivisions de les categories de la llegenda original de la primera edició. Si bé presenta més categories, correspon en essència al nivell 3 de la llegenda del mapa de cobertes CORINE (*European Environment Agency*) encara que amb una resolució 50 vegades superior.

El nivell 2 correspon a 24 categories a la segona edició, pràcticament les mateixes que la primera edició que era de 21 categories. Aquest és el nivell de més detall amb què es poden comparar les edicions més recents del mapa amb la primera versió de 1993.

El nivell 1 presenta 4 categories, agrupacions de les categories del nivell 2, i corresponen als principals tipus de cobertes. Aquest nivell presenta un subnivell de més detall temàtic, que a les bases de dades del MCSC s'anomena 1F, de 9 categories, 6 de les quals són subdivisions de la categoria de terrenys forestals del nivell 1.

Nivell 1	Nivell 1F	Nivell 2	Nivell 3	
Terrenys forestals	Arbrat dens	Boscors densos (no de ribera)	Boscors densos (no de ribera)	
		Plantacions de coníferes no autòctones	Plantacions d'eucaliptus	
		Boscors tallats arreu	Boscors de ribera	
		Boscors de ribera	Boscors de ribera	
		Reforestacions recents	Reforestacions recents	
		Plantacions de pollancre	Plantacions de pollancre	
	Arbrat clar	Boscors clars (no de ribera)	Boscors clars (no de ribera)	Boscors en franges de protecció
			Boscors en franges de protecció	
	Matollars	Matollars	Matollars	Matollars
	Vegetació d'aiguamolls	Vegetació d'aiguamolls	Vegetació d'aiguamolls	Vegetació d'aiguamolls litorals
			Vegetació d'aiguamolls continentals	Vegetació d'aiguamolls continentals
	Prats i herbassars	Prats i herbassars	Prats i herbassars	Prats i herbassars
	Boscors cremats	Boscors cremats	Boscors cremats	Boscors cremats
	Improductiu natural	Roquissars	Roquissars	Roquissars
Tarteres			Tarteres	
Sòls nus forestals		Lleres naturals	Lleres naturals	
		Vores d'embassaments	Vores d'embassaments	
		Sòls nus forestals	Sòls nus forestals	
Platges		Platges	Platges	
Glaceres i neus permanents	Glaceres i neus permanents	Glaceres i congestes		
Aigües continentals	Aigües continentals	Aigües continentals	Llacunes litorals	
		Llacs i llacunes continentals	Llacs i llacunes continentals	
		Rius	Rius	
		Embassaments	Embassaments	
Conreus	Conreus	Conreus	Arrossars	
			Altres conreus herbacis	
			Vinyes	
			Altres conreus llenyosos	
			Hivernacles	
		Conreus en transformació		
		Piscifactories i conreus aquícoles		
		Conreus abandonats – prats		
Conreus abandonats – matollars				
Conreus abandonats – boscors				
Canals i basses i agrícoles	Canals i basses i agrícoles	Canals artificials	Canals artificials	
		Basses agrícoles	Basses agrícoles	
Improductiu artificial	Improductiu artificial	Zones urbanitzades	Urbà residencial compacte	
			Urbà residencial lax	
			Zones industrials i comercials	
		Cementiris	Cementiris	
		Zones verdes urbanes	Zones verdes urbanes	
		Granges	Granges	
		Preses	Preses	
Basses urbanes	Basses urbanes			

Nivell 1	Nivell 1F	Nivell 2	Nivell 3
Improductiu artificial	Improductiu artificial	Vies de comunicació	Aeroports
			Autopistes i autovies
			Carreteres
			Vies de ferrocarril
			Zones portuàries
			Zones verdes viàries
	Zones esportives i lúdiques	Càmpings	
		Camps de golf	
		Altres zones esportives i lúdiques	
	Zones d'extracció minera	Zones d'extracció minera	
		Salines	
		Abocadors	
	Sòls nus urbans	Sòls nus urbans	

Taula 14. Llegendes jeràrquica del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya (fins a nivell 3)

La següent taula mostra les característiques tècniques de les diferents versions del MCSC, incloent la versió encara no publicada (2009):

	MCSC 1 (1993)	MCSC 2 (2000-2002)(incompleta)	MCSC 3 2005-2007	MCSC 4 2009
Escala ortofotos	1:25 000	1:5 000	1:5 000	1:5 000
Resolució (píxel)	2.50 m	0.50 m	0.50 m	0.25 m
Escala de treball	1:3 000	1:1 500	1:1 500	1:1 500
Infraroig color	No	No	Sí (SPOT)	Sí (ortofoto)
Superfície mínima captura	500 m ²	500 m ²	500 m ²	500 m ²
Amplada mínima	10 m	10 m Xarxa de comunicació: 8 m	10 m Xarxa de comunicació catalogada: No límits Carreteres no catalogades: 15 m	Ídem. 2005-2007
Categories	24	61	233	233+
Nivells llegenda jeràrquica	2	3	5	5

Taula 15. Característiques tècniques dels diversos Mapes de Cobertes del Sòl de Catalunya

En el context del projecte ACCUA, s'ha dut a terme l'anàlisi, en primer lloc, de les cobertes del sòl existents a les tres conques d'estudi i per a les tres dates disponibles fins ara, això és, per als anys 1993, 2000 i 2005.

Fent una anàlisi de les cobertes existents a les àrees d'estudi, a partir del MCSC de l'any 2005, una primera evidència és que estem tractant amb conques eminentment forestals, a on d'entre un 76 i un 81% del sòl es correspon a terrenys forestals.

Els conreus ocupen un 22% del sòl en la conca del Siurana, un 19% en la del Fluvià, i un 10% en la

conca de la Tordera, clarament la conca amb menys superfície agrícola.

Per altra banda, és aquesta conca, la de la Tordera, la més artificialitzada de totes, amb un 9% d'improductiu artificial, mentre que aquest percentatge baixa al 3% en el cas del Fluvià, i a tan sols el 2% per a la conca del Siurana.

Filant una mica més prim en aquesta primera anàlisi, troba diferències en el tipus de terrenys forestals presents a les tres conques, especialment a la conca del Siurana, on la superfície d'arbrat dens ocupa un 40% de la conca, mentre que al Fluvià i al

Tordera ocupa un 66% i un 64%, respectivament. En canvi, els matollars són el 24% de totes les cobertes a la conca del Siurana i només el 7% a la Tordera, o el 4% al Fluvià.

Les tres gràfiques següents mostren la distribució de les principals cobertes (nivell 1) per a les tres conques d'estudi:

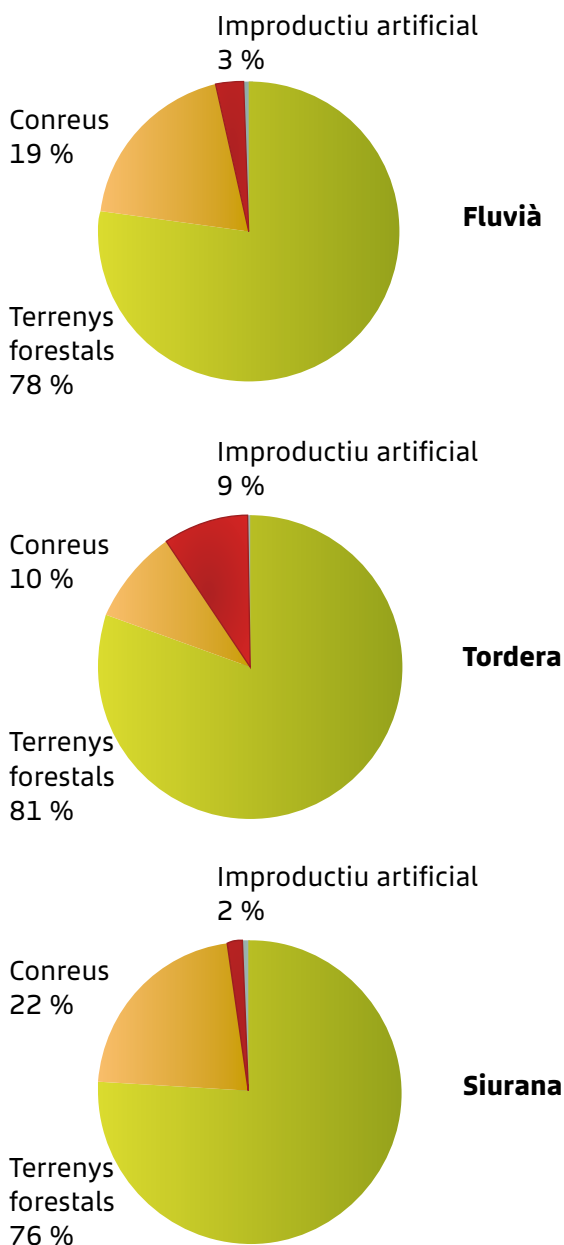


Figura 28. Cobertes del sòl a l'any 2005 nivell 1 al Fluvià, Tordera i Siurana.

Les següents taules mostren les categories de nivell 2 per al MCSC de l'any 2005, per a les 3 conques d'estudi. S'han ressaltat en groc les categories que cobreixen més de l'1% de superfície:

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Boscoss densos (no de ribera)	64520	66.30
Conreus	18530	19.04
Matollars	3961	4.07
Prats i herbassars	2711	2.79
Zones urbanitzades	2137	2.20
Boscoss de ribera	1779	1.83
Boscoss clars (no de ribera)	964	0.99
Vies de comunicació	588	0.60
Plantacions de pollancre	545	0.56
Sòls nus forestals	297	0.31
Aigües continentals	288	0.30
Zones d'extracció minera	196	0.20
Plantacions de plàtans	182	0.19
Horta familiar	173	0.18
Roquissars	144	0.15
Zones esportives i lúdiques	132	0.14
Tarteres	72	0.07
Vegetació d'aiguamolls	56	0.06
Platges	35	0.04
Canals i basses i agrícoles	7	0.01
Sòls nus urbans	2	0.00
Basses urbanes	0.2	0.00

Taula 16. Superfícies i percentatges de cobertes segons el MCSC2005 (nivell 2) al Fluvià

Tipus de coberta	Hectàrees	%
Boscoss densos (no de ribera)	55300	63.95
Conreus	8644	10.00
Matollars	6390	7.39
Zones urbanitzades	6336	7.33
Plantacions de pollancre	1983	2.29
Boscoss de ribera	1759	2.03
Boscoss clars (no de ribera)	1515	1.75
Prats i herbassars	1168	1.35
Plantacions de plàtans	1106	1.28
Vies de comunicació	1059	1.22
Sòls nus forestals	321	0.37
Zones esportives i lúdiques	286	0.33
Zones d'extracció minera	238	0.27
Roquissars	97	0.11
Horta familiar	96	0.11
Tarteres	53	0.06

Taula 17. Superfícies i percentatges de cobertes segons el MCSC2005 (nivell 2) a la Tordera

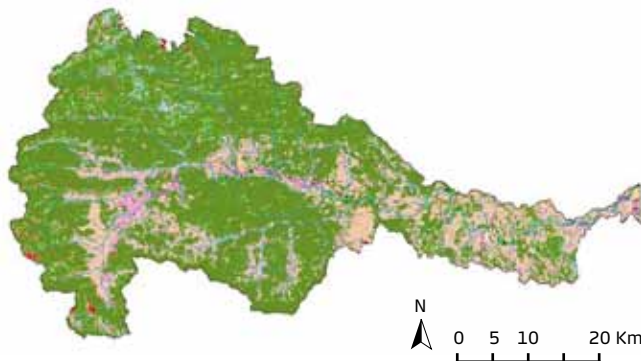
Típus de coberta	Hectàrees	%
Aigües continentals	42	0.05
Canals i basses i agrícoles	29	0.03
Sòls nus urbans	29	0.03
Vegetació d'aiguamolls	18	0.02
Basses urbanes	1	0.00
Platges	1	0.00

Taula 17. Superfícies i percentatges de cobertes segons el MCSC2005 (nivell 2) a la Tordera

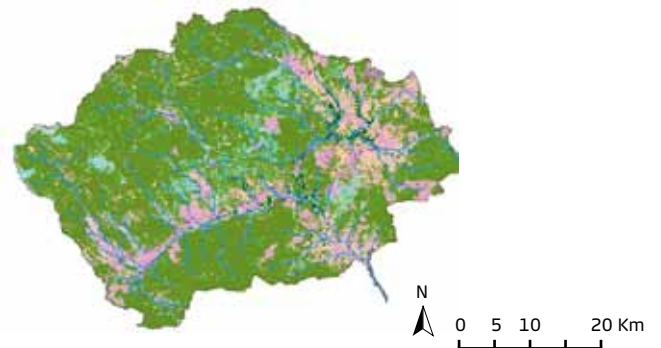
Típus de coberta	Hectàrees	%
Boscoss densos (no de ribera)	24447	39.78
Matollars	14962	24.35
Conreus	13347	21.72
Boscoss clars (no de ribera)	4168	6.78
Prats i herbassars	1353	2.20
Roquissars	1227	2.00
Zones urbanitzades	486	0.79
Boscoss de ribera	342	0.56
Vies de comunicació	340	0.55
Sòls nus forestals	267	0.43
Aigües continentals	156	0.25
Zones cremades	133	0.22
Horta familiar	96	0.16
Zones esportives i l-diques	49	0.08
Zones d'extracció minera	45	0.07
Canals i basses i agrícoles	16	0.03
Tarteres	6	0.01
Sòls nus urbans	5	0.01
Plantacions de pollancre	3	0.01
Plantacions de plàtans	2	0.00

Taula 18. Superfícies i percentatges de cobertes segons el MCSC2005 (nivell 2) al Siurana

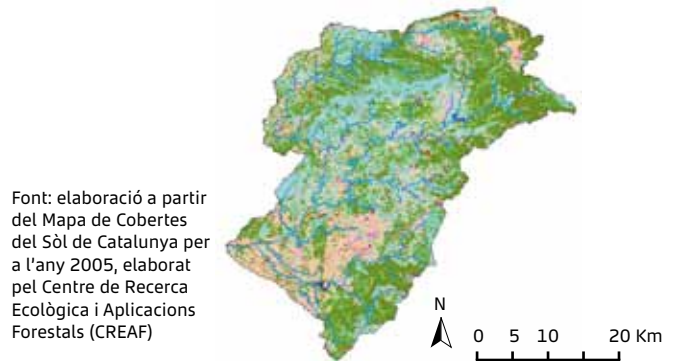
La distribució territorial de les cobertes del sòl al nivell 2, per a les tres conques i per l'any 2005, es pot observar en els següents mapes:



Cobertes del sòl 2005 (nivell 2) Conca del Fluvià



Cobertes del sòl 2005 (nivell 2) Conca del Tordera



Font: elaboració a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya per a l'any 2005, elaborat pel Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF)

Cobertes del sòl 2005 (nivell 2) Conca del Siurana

Llegenda

- Aigües continentals
- Basses urbanes
- Boscoss clars (no de ribera)
- Boscoss de ribera
- Boscoss densos (no de ribera)
- Canals i basses i agrícoles
- Conreus
- Matollars
- Plantacions de plàtans
- Plantacions de pollancre
- Platges
- Prats i herbassars
- Roquissars
- Sòls nus forestals
- Sòls nus urbans
- Tarteres
- Vegetació d'aiguamolls
- Vies de comunicació
- Zones d'extracció minera
- Zones esportives i lúdiques
- Zones urbanitzades
- Xarxa hidrogràfica
- Límits de la conca

Figura 29. Cobertes del sòl al nivell 2 segons el MCSC2005 per a les tres conques d'estudi.

A continuació es mostren totes les categories del sòl a nivell 3 i les hectàrees que ocupen per a les tres conques i per l'any 2005 (ordenades de major a menor):

Típus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Boscoss densos (no de ribera)	64510.22
Conreus herbacis (no arrossars)	17586.32
Matollars	3879.08
Prats i herbassars	2711.41
Boscoss de ribera	1779.04
Boscoss clars (no de ribera)	963.80
Urbanitzat residencial compacte	802.58
Conreus llenyosos (no vinyes)	747.59

Taula 19. Superfícies de les cobertes dels sòl segons el MCSC (nivell 3) al Fluvià.

Tipus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Urbanitzat residencial lax	685.12
Plantacions de pollancre	544.62
Zones industrials i comercials	392.80
Carreteres	348.60
Rius	280.15
Granges	205.60
Zones d'extracció minera	195.82
Plantacions de plàtans	181.87
Sòls nus forestals	178.80
Horta familiar	173.16
Conreus abandonats - prats	158.72
Roquissars	144.25
Autopistes i autovies	126.85
Lleres naturals	118.54
Zones verdes viàries	94.33
Bosc tallats arreu	82.21
Tarteres	71.94
Zones d'esport i lleure (excepte càmpings i camps de golf)	66.00
Càmpings	62.29
Vegetació d'aiguamolls litorals	53.40
Zones verdes urbanes	40.83
Platges	35.16
Conreus en transformació	17.78
Vinyes	14.04
Vies de ferrocarril	12.93
Plantacions de coníferes no autòctones	8.53
Basses agrícoles	7.26
Cementiris	7.00
Hivernacles	5.10
Llacs i llacunes continentals	5.09
Aeroports	4.30
Camps de golf	3.72
Llacunes litorals	2.26
Vegetació d'aiguamolls continentals	2.20
Preses	2.19
Sòls nus urbans	1.99
Bosc en franges de protecció	1.17
Zones portuàries	1.15
Grans vials i zones d'aparcament	1.13
Embassaments	0.70
Basses urbanes	0.20
Abocadors	0.15

Taula 19. Superfícies de les cobertes dels sòl segons el MCSC (nivell 3) al Fluvià.

Tipus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Bosc densos (no de ribera)	50907.04
Conreus herbacis (no arrossars)	7529.86
Matollars	5725.36
Urbanitzat residencial lax	3809.85
Plantacions de coníferes no autòctones	2782.64

Tipus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Plantacions de pollancre	1982.99
Bosc de ribera	1759.47
Bosc clar (no de ribera)	1514.70
Plantacions d'eucaliptus	1466.45
Urbanitzat residencial compacte	1218.03
Prats i herbassars	1167.74
Plantacions de plàtans	1105.77
Zones industrials i comercials	1032.94
Conreus llenyosos (no vinyes)	794.50
Bosc tallats arreu	664.88
Carreteres	409.98
Vies de ferrocarril	278.80
Granges	220.37
Zones d'extracció minera	208.99
Zones verdes viàries	199.33
Conreus abandonats - prats	189.19
Autopistes i autovies	170.69
Lleres naturals	163.14
Sòls nus forestals	157.87
Zones d'esport i lleure (excepte càmpings i camps de golf)	145.91
Bosc en franges de protecció	143.49
Roquissars	97.26
Horta familiar	95.67
Camps de golf	76.15
Vinyes	68.62
Càmpings	64.08
Tarteres	52.64
Conreus en transformació	43.47
Zones verdes urbanes	38.07
Basses agrícoles	28.87
Abocadors	28.78
Sòls nus urbans	28.70
Hivernacles	18.48
Vegetació d'aiguamolls continentals	17.50
Embassaments	16.71
Rius	16.30
Cementiris	11.33
Llacs i llacunes continentals	9.33
Preses	2.67
Grans vials i zones d'aparcament	2.33
Basses urbanes	1.40
Platges	0.81

Taula 20. Superfícies de les cobertes dels sòl segons el MCSC (nivell 3) a la Tordera

Tipus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Bosc densos (no de ribera)	24417.57
Matollars	14940.84
Conreus llenyosos (no vinyes)	7571.27
Vinyes	4419.13
Bosc clar (no de ribera)	4167.81

Tipus de coberta (nivell 3)	Superfície (ha)
Prats i herbassars	1353.49
Roquissars	1226.50
Conreus herbacis (no arrossars)	713.01
Conreus en transformació	415.29
Bosc de ribera	341.63
Carreteres	279.93
Urbanitzat residencial compacte	240.16
Conreus abandonats - prats	228.68
Embassaments	153.86
Lleres naturals	149.35
Zones cremades	133.32
Sòls nus forestals	117.23
Urbanitzat residencial lax	106.99
Horta familiar	96.10
Zones industrials i comercials	71.83
Granges	57.80
Zones d'extracció minera	44.20
Zones d'esport i lleure (excepte càmings i camps de golf)	38.00
Zones verdes viàries	33.92
Vies de ferrocarril	25.64
Bosc en franges de protecció	23.29
Bosc tallats arreu	20.94
Basses agrícoles	15.95
Càmpings	10.52
Tarteres	5.69
Plantacions de coníferes no autòctones	5.66
Cementiris	5.64
Sòls nus urbans	4.69
Plantacions de pollancre	3.19
Plantacions de plàtans	2.20
Zones verdes urbanes	2.17
Rius	1.70
Preses	1.19
Abocadors	0.80
Zones portuàries	0.27
Llacs i llacunes continentals	0.05

Taula 21. Superfícies de les cobertes del sòl segons el MCSC (nivell 3) al Siurana

2.2.1.3. Canvis recents i tendències dels usos del sòl

Canvis CLC1990-CLC2000

El projecte CLC2000, a banda de l'actualització de la base de dades de cobertes CLC90, va comportar la creació de la base de canvis CLC90-CLC00. Hem analitzat aquests canvis per a les 3 conques, i l'escala europea en aquest cas no és prou rellevant per extreure'n conclusions. És per això que a continuació s'analitzen els canvis a partir del Mapa de Cobertes del Sòl de Catalunya.

Canvis MCSC1993-MCSC2000 i MCSC2000-MCSC2005 i principals tendències

A partir de les dues bases de dades existents del MCSC, s'han analitzat els principals canvis de recobriment ocorreguts a les conques d'estudi en el període comprès entre 1993 i 2000, i entre 2000 i 2005.

Les següents gràfiques mostren els percentatges de les grans categories de cobertes del sòl (nivell 1) en els anys 1993, 2000 i 2005, per a les tres conques:

Grans cobertes del sòl (%)

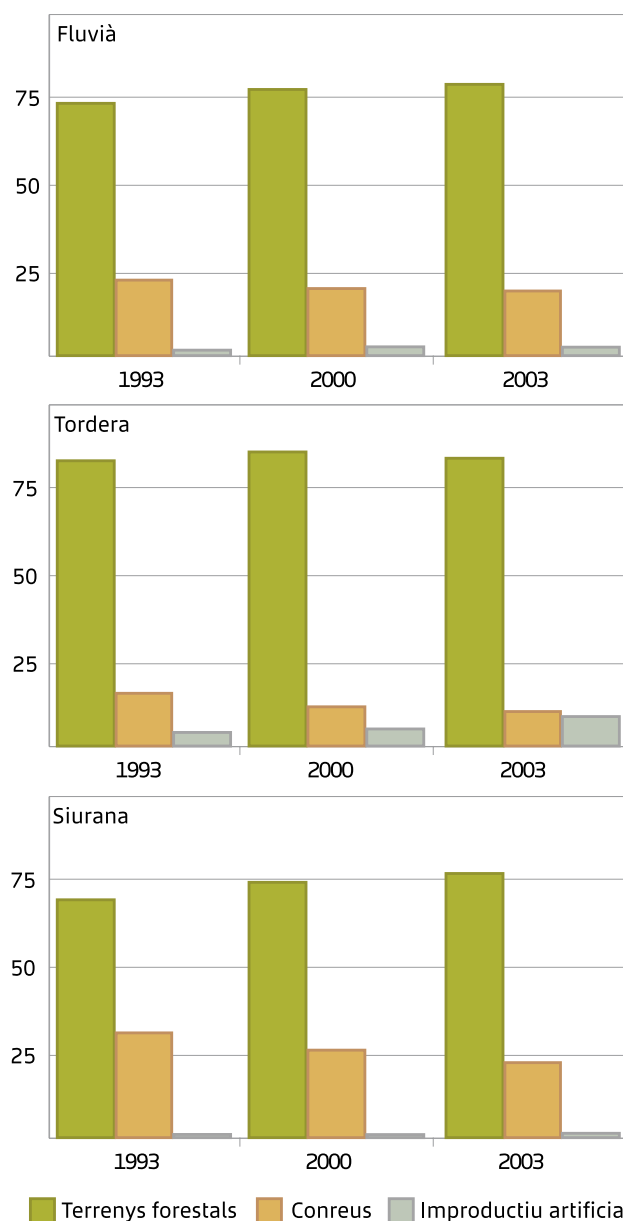


Figura 30. Evolució grans cobertes del sòl 1993-2000-2005 nivell 1 al Fluvià, Tordera i Siurana.

Conca	Terrenys forestals	Conreus	Improductiu Artificial	Altres
Fluvià	76,1 / 77,3 →	20,8 / 19 →	2,8 / 3,1 →	0,3 / 0,4
Tordera	82,5 / 80,6 →	11,4 / 10 →	6,1 / 9,2 →	0,1 / 0,2
Siurana	73,7 / 76,1 →	25,2 / 21,8 →	0,9 / 1,5 →	0,2 / 0,6

Figura 31. Quadre-resum de grans tendències 2000-2005.

Si donem un primer cop d'ull a aquesta evolució en valor absolut, és a dir comparant els percentatges de les categories per al nivell 1 del MCSC, ens adonem que per a totes tres conques ha augmentat el percentatge de terrenys forestals o s'ha mantingut. Especialment, ha crescut molt a la conca del Siurana (gairebé 8 punts percentuals). Per altra banda, els conreus han disminuït a totes les conques d'entre 4 i 8 punts, amb més força al Siurana també. L'agricultura, doncs, ha patit un important retrocés en només 12 anys, en favor dels terrenys forestals. Pel que fa a la superfície artificial, ha augmentat molt significativament a la Tordera, passant de representar un 4,6% en 1993 a un 9,2% en 2005. Al Fluvià, i sobretot al Siurana, l'augment ja estat més moderat (1,2 i 0,6 punts, respectivament).

Analitzant els canvis pròpiament dits, hom s'adona que els principals canvis han estat evolucions dels terrenys forestals i pèrdua de conreus. Per a les tres conques, el canvi més important dins dels canvis forestals, ha estat el pas de superfícies de matollar cap a arbrat dens o clar, excepte en el cas de la Tordera entre 1993 i 2000, a on el principal canvi fou justament l'invers, d'arbrat dens a matollar.

Pel que fa a la pèrdua de conreus entre 1993 i 2000, bona part han passat a matollar, en el cas del Fluvià i el Siurana, i també a arbrat dens i improductiu artificial, en el cas de la Tordera i el Fluvià.

Entre 2000 i 2005, s'han perdut menys conreus en proporció respecte el període anterior, llevat del Siurana, a on bona part de la pèrdua de conreu ha passat a matollar. En el cas del Fluvià, la majoria de pèrdua de conreu ha esdevingut prats i herbassars, mentre que, a la Tordera, improductiu artificial o arbrat.

El cas del Siurana és singular ja que, malgrat que, globalment, s'han perdut gairebé 3000 hectàrees

de conreu entre 2000 i 2005, la vinya ha augmentat molt significativament, passant de les 3134 hectàrees a 4419 en només aquests 5 anys. Això representa un augment de la superfície dedicada a la vinya en 5 anys del 40,7%!

Les superfícies artificials han avançat bàsicament en detriment dels conreus en totes tres conques (poc al Siurana), i també de l'arbrat dens, sobretot a la Tordera, i dels matollars, principalment al Siurana.

A continuació s'inclouen els canvis entre categories 1F per a les tres conques entre 1993 i 2000, i entre 2000 i 2005. S'hi inclouen només els canvis superiors a les 100 hectàrees:

Coberta 1993	Coberta 2000	Superfície (ha)
Matollars	Arbrat dens	1258.53
Conreus	Matollars	1018.07
Conreus	Arbrat dens	1015.72
Conreus	Improductiu artificial	898.4
Arbrat dens	Matollars	748.97
Conreus	Prats i herbassars	668.99
Prats i herbassars	Matollars	538.46
Arbrat dens	Conreus	495.51
Improductiu natural	Arbrat dens	301.61
Prats i herbassars	Arbrat dens	277.33
Improductiu natural	Matollars	251.88
Arbrat dens	Improductiu artificial	214.16
Prats i herbassars	Conreus	180.42
Arbrat dens	Prats i herbassars	157.47
Matollars	Conreus	134.64
Arbrat dens	Arbrat clar	130.18
Matollars	Prats i herbassars	123.29
Arbrat clar	Arbrat dens	110.24
Matollars	Arbrat clar	109.63

Taula 22. Canvis de cobertes entre el MCSC1993 i el MCSC2000 (nivell 1F) al Fluvià

Coberta 2000	Coberta 2005	Superfície (ha)
Matollars	Arbrat clar	3289.60
Conreus	Prats i herbassars	1147.70
Arbrat dens	Matollars	418.38
Matollars	Arbrat dens	405.22
Arbrat clar	Matollars	396.74
Conreus	Improductiu artificial	303.50
Conreus	Arbrat clar	255.61
Arbrat dens	Arbrat clar	247.63
Matollars	Prats i herbassars	211.24

Taula 23. Canvis de cobertes entre el MCSC2000 i el MCSC2005 (nivell 1F) al Fluvià

Coberta 2000	Coberta 2005	Superfície (ha)
Arbrat dens	Conreus	209.01
Conreus	Horta familiar	145.54
Arbrat dens	Improductiu artificial	145.13
Arbrat dens	Prats i herbassars	137.70
Conreus	Arbrat dens	125.43
Prats i herbassars	Improductiu artificial	109.20

Taula 23. Canvis de cobertes entre el MCSC2000 i el MCSC2005 (nivell 1F) al Fluvià

Coberta 1993	Coberta 2000	Superfície (ha)
Arbrat dens	Matollars	4800.34
Conreus	Arbrat dens	1688.39
Conreus	Improductiu artificial	1154.32
Matollars	Arbrat dens	1007.7
Arbrat dens	Improductiu artificial	756.66
Conreus	Matollars	698.48
Arbrat dens	Arbrat clar	657.5
Arbrat dens	Conreus	620.66
Conreus	Prats i herbassars	596.27
Improductiu artificial	Arbrat dens	341.63
Improductiu artificial	Matollars	236.22
Improductiu natural	Matollars	198.97
Arbrat dens	Prats i herbassars	178.29
Matollars	Prats i herbassars	160.89
Prats i herbassars	Matollars	139.77
Improductiu artificial	Prats i herbassars	130.24
Improductiu natural	Prats i herbassars	114.08

Taula 24. Canvis de cobertes entre el MCSC1993 i el MCSC2000 (nivell 1F) a la Tordera

Coberta 2000	Coberta 2005	Superfície (ha)
Matollars	Arbrat clar	4241.65
Matollars	Arbrat dens	1888.68
Arbrat dens	Arbrat clar	1513.72
Arbrat dens	Improductiu artificial	1456.74
Conreus	Improductiu artificial	668.59
Arbrat dens	Matollars	600.69
Matollars	Improductiu artificial	517.56
Conreus	Arbrat dens	385.83
Arbrat clar	Arbrat dens	347.43
Prats i herbassars	Improductiu artificial	345.85
Arbrat clar	Matollars	343.44
Arbrat dens	Conreus	326.83
Conreus	Prats i herbassars	319.94
Conreus	Arbrat clar	247.07
Prats i herbassars	Arbrat clar	188.98
Matollars	Prats i herbassars	149.93
Arbrat dens	Prats i herbassars	143.81
Improductiu artificial	Arbrat dens	120.45

Taula 25. Canvis de cobertes entre el MCSC2000 i el MCSC2005 (nivell 1F) a la Tordera

Coberta 1993	Coberta 2000	Superfície (ha)
Matollars	Arbrat dens	2960.06
Conreus	Matollars	2640.56
Arbrat dens	Matollars	1782.43
Matollars	Arbrat clar	1338.81
Conreus	Arbrat dens	769.38
Matollars	Conreus	718.3
Arbrat clar	Arbrat dens	673.51
Arbrat dens	Arbrat clar	594.43
Improductiu natural	Matollars	482.99
Arbrat clar	Matollars	440.26
Matollars	Improductiu natural	378.6
Conreus	Arbrat clar	296.3
Conreus	Prats i herbassars	280.56
Arbrat dens	Conreus	274.86
Matollars	Prats i herbassars	202.86
Conreus	Improductiu artificial	165.91
Prats i herbassars	Matollars	153.44
Arbrat dens	Improductiu natural	150.34
Arbrat dens	Zones recent cremades	100.43

Taula 26. Canvis de cobertes entre el MCSC1993 i el MCSC2000 (nivell 1F) al Siurana

Coberta 2000	Coberta 2005	Superfície (ha)
Conreus	Matollars	1762.05
Matollars	Arbrat dens	1665.21
Matollars	Arbrat clar	1073.10
Arbrat dens	Arbrat clar	964.42
Arbrat dens	Matollars	640.83
Conreus	Prats i herbassars	550.30
Arbrat clar	Matollars	493.67
Matollars	Conreus	484.12
Arbrat clar	Arbrat dens	468.69
Matollars	Prats i herbassars	395.89
Matollars	Improductiu natural	268.30
Zones cremades	Matollars	254.23
Conreus	Arbrat clar	236.86
Improductiu natural	Matollars	211.87
Conreus	Arbrat dens	192.46
Arbrat dens	Conreus	182.59
Prats i herbassars	Matollars	180.98
Zones cremades	Arbrat dens	143.77
Conreus	Improductiu artificial	140.02
Matollars	Improductiu artificial	129.03

Taula 27. Canvis de cobertes entre el MCSC1993 i el MCSC2000 (nivell 1F) al Siurana

2.2.2. Planejament territorial

Com serà el territori depèn en bona mesura de les directrius i objectius que es fixen en les actuacions

actuals. Quin territori futur volem, cap on volem anar, amb quin model de creixement, com equilibrar els drets de la gent visquin on visquin, ... són preguntes que el planejament territorial ha de respondre. Per tant, aquest planejament es pot entendre com una eina per organitzar i distribuir els usos en un territori a una escala de treball prou àmplia (per exemple tot Catalunya), de forma que es garanteixin les mateixes oportunitats per tots els ciutadans.

El Pla Territorial General de Catalunya (PTGC), aprovat el 1995, defineix els objectius d'equilibri territorial d'interès general per a Catalunya i, actua com a orientador per la distribució territorial de les activitats econòmiques per aconseguir que la ciutadania tingui uns nivells de qualitat de vida semblants, independentment de l'àmbit territorial on visquin. Aquest pla estableix, per tot Catalunya, entre d'altres, els nuclis urbans que haurien d'exercir una funció impulsora o nodal, els espais i elements naturals que s'han de conservar pel seu interès general, les terres agrícoles o forestals d'especial interès que cal conservar o ampliar, la previsió de l'emplaçament de les grans infraestructures... i la definició dels àmbits d'aplicació dels plans territorials parcials que seran la concreció a una escala territorial més detallada d'aquest Pla Territorial General.

Els Plans Territorials Parciais (PTP) despleguen les determinacions del Pla Territorial General a una escala més detallada. Aquests plans defineixen els objectius d'equilibri d'una part del territori de Catalunya i orienta les actuacions que s'emprendran amb una determinada visió de futur. Els PTP han de considerar objectius següents de preservació del medi:

- Fomentar el desenvolupament sostenible del país.
- Respectar les terres d'ús agrícola o forestal d'especial interès, ja sigui per llur extensió, per llur ubicació o per llur fertilitat.
- Incentivar l'ús eficient dels recursos energètics i hidràulics.
- Salvaguardar els espais naturals d'especial interès.
- Afavorir el mínim impacte ambiental de les actuacions amb incidència territorial.

Entre 2006 i 2010, s'han aprovat els set plans territorials existents: Alt Pirineu i Aran, Ponent

(Terres de Lleida), Terres de l'Ebre, Camp de Tarragona, Comarques Centrals, metropolità de Barcelona i Comarques Gironines.

Els PTPs han de recollir al seu articulat les següents determinacions:

- Els sòls destinats a acollir els diferents usos i quantificació dels paràmetres urbanístics bàsics necessaris per a donar acollida al creixement de població previst (nombre d'habitatges, sostre industrial i terciari, sòl per a equipaments).
- L'emplaçament de les infraestructures bàsiques de transport, de serveis, de telecomunicacions i mediambientals.
- Els equipaments de nivell comarcal i supracomarcal.
- Els espais objecte de protecció en funció de llur interès especial i de llur valor de situació (espais d'interès natural, terres d'ús agrícola o forestal d'especial interès i àrees de protecció de construccions i d'espais naturals d'interès historicoartístic).
- Les previsions de desenvolupament socioeconòmic.

L'objectiu final d'aquest tipus de pla és l'ordenació territorial i la distribució d'usos, que es materialitza en la definició de tres sistemes bàsics territorials:

- **Sistema d'espais oberts:** Representa els territoris que han de ser preservats de la urbanització i de qualsevol procés que pugui comprometre els seus valors paisatgístics, ambientals, patrimonials i econòmics. Aquest sistema es compon de tres tipus d'espais:
 - Sòls de protecció especial: sòl que pels seus valors naturals o per la seva localització en el territori, es considera adequat per a integrar una xarxa permanent i contínua d'espais oberts que ha de garantir la biodiversitat i vertebrar el conjunt del territori, amb els seus diferents caràcters i funcions. Aquesta categoria de sòl incorpora com a primers constituents tots els espais que han estat protegits per la normativa sectorial o per planejaments específics, sigui el Pla d'Espais d'Interès Natural, la Xarxa Natura 2000 i, quan és el cas, el Pla director urbanístic del sistema costaner (PDUSC). Aquest sòl es considera com a sòl no urbanitzable.

- Sòl de protecció territorial: sòl que no es considera necessari que formi part de la xarxa de sòl de protecció especial, però que té valors, condicionants o circumstàncies que motiven una regulació restrictiva de la seva possible transformació. Aquest sòl ha de mantenir majoritàriament la condició de sòl no urbanitzable. Hi ha quatre motius pels quals un sòl ha d'ésser considerat sòl de protecció territorial:

- Interès agrari i/o paisatgístic: àrees d'activitats agràries d'interès per al territori, que aporten paisatges significatius o identitaris de l'àmbit territorial i espais no urbanitzats estructuradors de l'ordenació del territori.

- Potencial interès estratègic: àrees de sòl que per raons de localització, connectivitat, topografia o altres condicions poden tenir en el futur un paper estratègic en l'estructuració territorial dels assentaments, les activitats i les infraestructures.

- Preservació de corredors d'infraestructures: àrees de sòl que, per raó de la seva situació al llarg de determinades infraestructures o en llocs crítics del territori, han de quedar excloses de transformacions urbanístiques amb la finalitat de no dificultar futures propostes de millora de la mobilitat territorial o de dotació d'infraestructures en general.

- Riscos i afectacions: existència de riscos naturals o tecnològics o d'altres afectacions o de situacions de vulnerabilitat que afecten superfícies significatives del territori i que el Pla assenjala com una circumstància que pot impedir o condicionar la transformació urbanística i l'edificació del sòl.

- Sòl de protecció preventiva: sòls classificats com a no urbanitzables en el planejament urbanístic que no hagin estat considerats de protecció especial o de protecció territorial. Cal protegir preventivament aquest sòl, sense perjudici que es puguin delimitar àrees per a ésser urbanitzades i edificades segons la legislació vigent.

- **Sistema d'assentaments:** Engloba els assentaments existents, les propostes d'estratègies d'extensió, reforma o consolidació i la definició d'una estructura nodal de referència,

per ordenar la superfície urbana. Els PTP fan una proposta de la superfície que es podrà urbanitzar a futur, així com del creixement poblacional i la distribució d'aquesta població al territori en funció de l'estratègia municipal. Pels assentaments, els plans distingeixen set estratègies de creixement:

- Creixement potenciat, mitjà o moderat: Assentaments en els quals es preveu un augment de la superfície urbana

- Desenvolupament qualitatiu i reforçament nodal o desenvolupament qualitatiu: àrees que han exhaurit o estan en vies d'exhaurir les disponibilitats de sòl adequat per a l'extensió de la urbanització, però que, per la seva localització i la seva significació poden millorar el seu paper com a àrees urbanes en l'estructura territorial

- Millora urbana i compleció: nuclis i àrees urbanes que per la seva petita dimensió no tenen capacitat per a estructurar extensions urbanes o que no disposen de sòl físicament apte per a la urbanització o que tenen un molt baix nivell d'accessibilitat.

- Manteniment del caràcter rural: entitats formades per agrupacions d'edificacions rurals que, o bé mantenen una clara separació entre elles i en les quals caldrà que es mantingui la configuració dispersa de l'assentament i s'eviti una compactació contradictòria amb el seu caràcter estrictament rural, o bé presenten una estructura compacta, de petita magnitud, resultat l'adaptació morfològica a una singularitat del territori i en les quals caldrà igualment que es mantingui aquesta configuració.

- **Sistema d'infraestructures de mobilitat:** Inclou les infraestructures viàries, ferroviàries, portuàries i aeroportuàries, tant les actuals com la previsió futura.

2.2.2.1. Plans territorials parcials a les conques

Tenint en compte que l'objectiu principal del projecte és l'avaluació dels efectes del canvi

global sobre les conques, és bàsic conèixer com serà la planificació del territori a mig termini per incorporar-la als escenaris socioeconòmics possibles. En aquest sentit, s'han considerat:

- La distribució d'espais en sistemes: per limitar el creixement urbà a la superfície que el pla proposa com assentaments i per protegir el sistema d'espais oberts.
- Les estratègies de creixement dels assentament per

distribuir la població en funció de la planificació.

- Les infraestructures futures

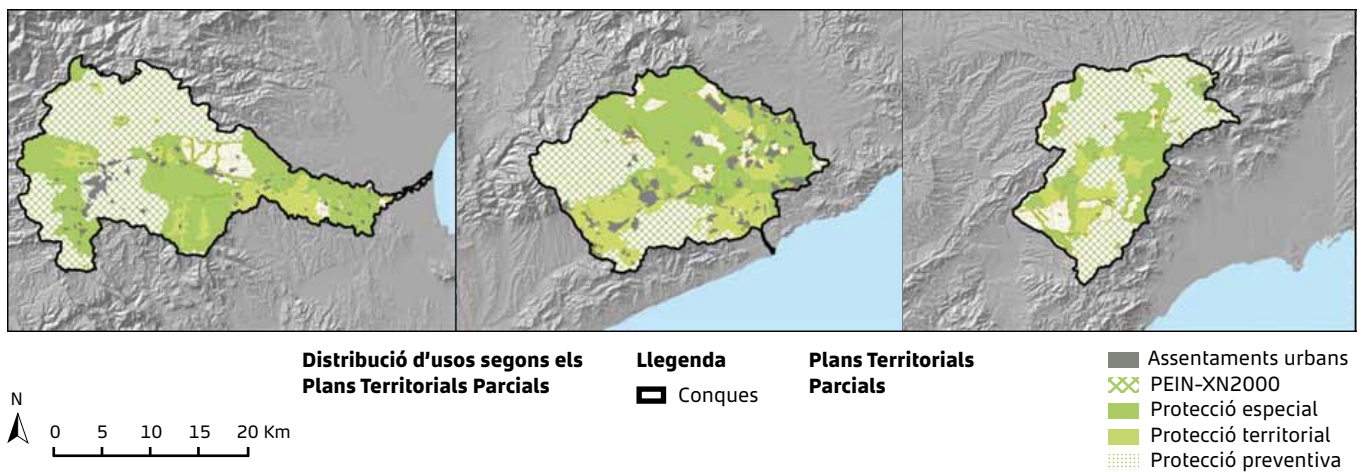
Per les tres conques, el sistema d'espais oberts representa més del 90% de la superfície (97, 90 i 93% pel Fluvià, Tordera i Siurana respectivament, Taula 28). Traient el sòl de protecció preventiva, que seria l'únic susceptible d'urbanitzar, el sòl protegit a les conques continuaria essent molt elevat, superior al 84% (92, 84 i 87%).

Sistema	Classe	Fluvià		Tordera		Siurana	
		Sup. (ha)	%	Sup. (ha)	%	Sup. (ha)	%
Assentaments urbans	Assentaments	2297.8	2.4	8216.5	9.5	432.3	0.7
	PEIN-XN2000	44517.1	45.8	26089.6	30.2	33568.4	54.5
Espais oberts	Protecció especial	36699.9	37.7	32280.4	37.3	15880.8	25.8
	Protecció territorial	8033.3	8.3	14513.1	16.8	4341.0	7.0
	Protecció preventiva	5740.2	5.9	5368.5	6.2	7402.7	12.0
		97288.3		86468.0		61625.2	

Figura 32. Distribució espacial dels sistemes proposats al pla territorial parcial per conca. Els espais oberts ocupen la majoria de la superfície.

	Creixement potenciat	Creixement mitjà	Creixement moderat
FLUVIÀ	Besalú	Sant Pere de Torelló	Bàsca, l'Armentera, Pontós Sant Miquel de Fluvià, Sant Mori Sant Pere Pescador, Saus Torroella de Fluvià, Ventallò, Vilaür, Argelaguer, Beuda, la Vall d'en Bas, les Preses, Maià de Montcal, Mieres, Montagut i Oix, Riudaura, Sant Jaume de Llierca, Tortellà, Crespià, Esponellà, Fontcoberta, Serinyà, Santa Maria de Corcó, Santa Maria de Corcó, Vidrà, Cabanelles, Garrigàs, Navata, Vilopriu
TORDERA	Santa Coloma de Farners	Sant Celoni, Sils, Vidreres	Gualba, Sant Esteve de Palautordera, Santa Maria de Palautordera, Vallgorguina, Vilalba Sasserra, Tordera, el Brull, Espinelves, Viladrau, Arbúcies, Breda, Brunyola, Caldes de Malavella, Hostalric, Maçanet de la Selva, Massanes, Osor, Riells i Viabrea, Riudarenes, Sant Feliu de Buixalleu, Sant Hilari Sacalm, Vilobí d'Onyar
SIURANA	Falset, Flix, Móra la Nova	Capçanes, Cornudella de Montsant, Marçà	Alforja, Arbolí, Capafonts, Colldejou, Duesaigües, la Febró, l'Argentera, Prades, Riudecols, Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant, Vilaplana, Mont-ral, Vilanova de Prades, Vimbodí, Bellmunt del Priorat, Cabacés, el Lloar, el Masroig, el Molar, els Guiamets, Gratallops, la Bisbal de Falset, la Figuera, la Morera de Montsant, la Torre de Fontaubella, la Vilella Alta, la Vilella Baixa, Margalef, Poboleda, Porrera, Pradell de la Teixeta, Torroja del Priorat, Ulldemolins, Garcia, la Palma d'Ebre, la Torre de l'Espanyol, Tivissa, Vinebre

Taula 29. Nuclis urbans per conca classificats segons la estratègia de creixement proposades pels PTPs. Només estan incloses tres categories d'estratègia, les que impliquen increment de la superfície urbana.



Taula 28. Superfície en ha ocupada per cada sistema del pla territorial parcial i % respecte al total.

Pel que fa a les estratègies de creixement, els plans territorials són prou restrictius en quant al creixement de la superfície urbana i únicament proposen un i dos nuclis urbans per conca on es permetrà un creixement potenciat o estratègic, i entre un i tres on el creixement serà mitjà (Taula 29). Aquestes estratègies impliquen unes limitacions al desenvolupament urbà, que en el cas del creixement mitjà representa un increment de com màxim el 60% de la superfície actual i d'un 30 % en el creixement moderat. En la resta de nuclis urbans de les conques no estarà permès el creixement de la superfície urbana, sinó que es proposen mesures que optimització de l'àrea urbana existent, la recuperació, millora i manteniment dels nuclis rurals, manteniment del paisatge rural, etc.

2.2.3. Estimació dels usos de l'aigua actuals

Per analitzar l'evolució en el temps de la disponibilitat d'aigua en les conques, és necessari un coneixement detallat dels usos actuals, que permeti definir per cada zona de la conca les extraccions (subterrànies i superficials) i els retorns d'aigua (de depuradores, indústries, ...). Una anàlisi exhaustiva de les necessitats actuals d'aigua a les conques permetrà una prognosi acurada dels usos d'aigua futurs. Cal distingir, però, entre la demanda d'aigua, que és la quantitat d'aigua necessària per dur a terme una determinada activitat; i l'ús

de l'aigua, que és l'aigua realment emprada en aquesta activitat (ACA, 2010). L'ús de l'aigua pot tenir caràcter consumptiu o no consumptiu:

- **Usos no consumptius:** la pràctica totalitat de l'aigua emprada torna a la conca en condicions de qualitat i temporalitat similars a les existents al punt de captació. Inclou les centrals hidroelèctriques, l'aqüicultura i la refrigeració de tèrmiques i nuclears.
- **Usos consumptius:** les extraccions d'aigua de la conca no tornen al medi ni en quantitat ni en qualitat similar a l'aigua extreta. Inclou l'aigua d'ús urbà (domèstic, serveis, municipals), industrial (indústria manufacturera), agrícola, ramader i recreatiu (camps de golf, balnearis i innivació artificial).

Per l'estimació dels usos d'aigua a les tres conques, s'ha disposat de la base de dades de 2007 de l'ACA que determina, per cada municipi, la quantitat i l'origen (subterrània o superficial) de l'aigua consumida a cada municipi de Catalunya. A partir d'aquestes dades, s'ha fet una estimació dels usos d'aigua de cada conca en funció de l'origen:

- **Ús urbà:** Primer s'ha estimat la població de cada municipi dins de la conca a partir del padró de 2008 de l'IDESCAT. Per aquest càlcul, s'ha suposat que la població es distribueix homogèniament en la zona urbana. La superfície urbana s'ha calculat amb el Mapa

de Cobertes del Sol de Catalunya de l'any 2005, incloent el sòl urbanitzat residencial lax i compacte (classes 40 i 41 de nivell 3). Ponderant la superfície urbana municipal dins i fora de la conca, s'ha estimat la població total de la conca. Finalment, les necessitats d'aigua s'han calculat com producte de la població present a la conca i la dotació urbana equivalent municipal en alta (lpd) del 2007.

- **Ús industrial:** El procés ha estat semblant a l'aigua d'ús urbà. S'ha ponderat l'ús industrial per municipi per la superfície urbana d'aquest dins la conca. A la conca de la Tordera s'ha tingut en compte les extraccions per aigua envasada, identificant aquelles empreses envasadores que s'abasteixen de dins la conca. S'ha estimat un volum d'extracció anual aproximat de 1.8 hm³.
- **Ús agrícola:** Per estimar la superfície actual de regadiu a les conques, s'ha fet servir

la cartografia del DUNSIGPAC. Aquest SIG, generat específicament com a eina pel "Pla per a l'eficiència en l'ús de l'aigua per a reg agrícola", recull la informació agrícola de la Declaració Única Agrària (DUN) i el Sistema d'Informació Geogràfica de Parcel·les Agrícoles (SIGPAC) de l'any 2007. Les bases de SIGPAC defineixen els límits geogràfics de totes les parcel·les i recintes de Catalunya, i la DUN conté la declaració del propietari sobre els cultius que s'estan realitzant en cada recinte, la superfície que ocupen, el règim de tinença, el producte o aprofitament que s'hi duu a terme, i el sistema d'explotació utilitza, secà o regadiu. La DUN no té un component geogràfic, però sí un identificador del recinte que es pot relacionar amb el SIGPAC. D'aquesta forma, el DUGSINPAC localitza i identifica, per cada parcel·la agrícola de Catalunya, el tipus de conreu i el sistema d'explotació. Amb aquesta base de dades, s'ha estimat la superfície de conreu que es rega a les tres conques respecte al total per municipi.

- **Ús ramader:** Els valors de demanda d'usos ramaders a nivell municipal s'ha ponderat amb la superfície dedicada a granges segons el MCSC 2005.
- **Ús recreatiu:** El procés ha estat el mateix que a l'ús ramader, ponderant per la superfície dedicada a camps de golf (ús majoritari de l'aigua recreativa).

	Població 2008	Superfície (ha)			
		Urbana	Agrícola - Regadiu	Granges	Golf
Fluvià	59514	1488	3131	206	4
Tordera	111842	5028	2652	220	76
Siurana	11582	347	2835	58	0

Taula 30. Estimació de la població per conca en funció de la superfície urbana. Superfícies dedicades a l'ús urbà, granges i golf segons el MCSC2005 i al regadiu segons el DUGSINPAC per conca.

	Usos urbans hm ³ /any	Usos industrials hm ³ /any	Usos agrícoles hm ³ /any	Usos ramaders hm ³ /any	Usos recreatius hm ³ /any	Total Usos consumptius hm ³ /any	Usos no consumptius hm ³ /any	Total Usos no consumptius hm ³ /any
Fluvià	6.5	4.7	17.1	1.0	0.1	29.3	889.6	889.6
Tordera	30.9	7.6	13.6	0.3	0.1	52.5	11.8	11.8
Siurana	1.0	0.0	20.1	0.1	0.0	21.3	6063.1	6063.1

Taula 31. Estimació de volum d'aigua per tipus ús en hm³/any a partir de la base de dades de l'ACA i segons les cobertes del sòl del MCSC2005.

	Usos urbans hm ³ /any			Usos industrials hm ³ /any		Usos agrícoles hm ³ /any		Usos ramaders hm ³ /any		Usos recreatius hm ³ /any		Total Usos consumptius hm ³ /any			Total hm ³ /any
	Sub.	Sup.	Des.	Sub.	Sup.	Sub.	Sup.	Sub.	Sup.	Sub.	Sup.	Sub.	Sup.	Des.	
Fluvià	6.0	0.5		4.4	0.3	11.7	5.4	0.8	0.3	0.1	0.0	22.9	6.4		29.3
Tordera	21.5	0.7	8.6	7.5	0.0	6.8	6.8	0.2	0.2	0.1	0.0	36.0	7.8	8.6	52.5
Siurana	0.9	0.1		0.0	0.0	17.7	2.4	0.1	0.1	0.0	0.0	18.7	2.6		21.3

Taula 32. Estimació de volum d'aigua per tipus d'extracció en hm³/any. Sub. correspon a fonts subterrànies (pous); Sup. a fonts superficials com cursos fluvials o embassaments; Des. a l'aigua provinent de la dessalinitzadora. Font: Base de dades de l'ACA.

A la conca de la Tordera es produeixen les demandes més elevades per usos urbans i industrials, en tractar-se de la conca més poblada (més de 100.000 habitants) i amb major superfície urbana. Pel que fa als usos agrícoles, la conca del Siurana presenta una major demanda que el Fluvià, a pesar de tenir una superfície inferior. Això es deu a que, al Fluvià, una bona part dels regs són de suport, amb dotacions inferiors al reg complet.

Atenent a l'origen de les extraccions, s'ha distingit entre captacions superficials (rius i embassaments) i subterrànies (pous). La major part de les captacions a les tres conques són subterrànies (aproximadament el 78% de les extraccions). A la Tordera, s'inclou la quantitat de l'aigua aportada a la xarxa municipal per la dessalinitzadora (ITAM La Tordera), d'aproximadament 8.6 hm³ l'any 2008.

2.3. Com són els sòls?

Jaume Fons. ETC-LUSI

La modelització del balanç hídric de les conques requereix certs paràmetres del sòl que juguen un paper fonamental en la regulació de la dinàmica de l'aigua. El model SWAT requereix una sèrie de paràmetres edàfics que inclou algunes de les propietats bàsiques dels sòls:

- Fondària

- Textura
- Capacitat de camp
- Contingut de C orgànic

2.3.1. Disponibilitat de dades

El Mapa de Sòls de Catalunya (1/25000) és la font d'informació de referència ja que inclou la distribució dels tipus de sòls i les seves principals característiques. Tanmateix, és un projecte que encara s'està desenvolupant i de moment cobreix principalment zones agrícoles de Catalunya. En concret, només un 10% de les tres conques estudiades disposen del mapa de sòls (la major part en al conca del Fluvià). Per aquest motiu ha fet falta recórrer a fonts d'informació addicionals que permetessin omplir aquestes llacunes:

- Mapa de sòls d'Europa (escala 1:1 00 000) com a context amb cobertura total per a les zones d'estudi.
- Dades de perfils provinents d'estudis o de la base de dades de sòls d'Europa.
- Mapa geològic de Catalunya.

2.3.2. Aproximació a l'estimació de propietats hídriques del sòl

Segons la informació disponible s'ha processat de la següent forma (Figura 33):

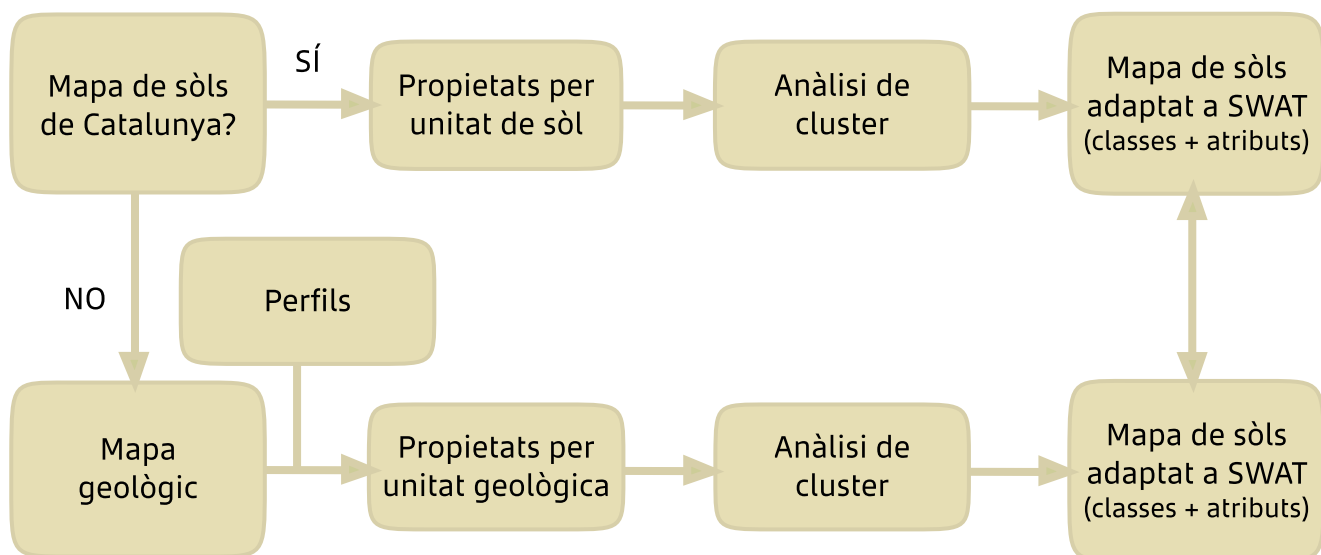


Figura 33. Aproximació per la estimació de les propietats hídriques del sòl.

- Àrees amb mapa de sòl a escala 1:50 000. S'han generat diferents capes amb les dades requerides a partir dels atributs de les classes de sòl.

- Quan no es disposa de mapa de sòls a escala 1:50 000 s'ha procedit de la següent forma:

- . Zonificació creuant el mapa de sòls d'Europa amb el mapa geològic.
- . Regressió entre les dades dels perfils i les unitats definides en el punt anterior.
- . El nombre de perfils disponibles no ha estat suficient per aplicar tècniques gesotadístiques, excepte en el cas de la conca del Fluvià.

Finalment, mitjançant anàlisi de clúster s'han agrupat els sòls amb característiques més semblants per tal de reduir el nombre de grups.

2.4. Com són les masses d'aigua?

*Lucila Candela, Karim Tamoh, Manolo Gómez, Gonzalo Olivares. UPC
Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.*

2.4.1. Masses d'aigua superficial

2.4.1.1. Estacions d'aforament disponibles

Les dades d'aforament utilitzats a l'estudi han estat proporcionades per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i corresponen a les dades de cabal promig

diari per les estacions d'aforament més rellevants dins de les conques.

La Figura 34 mostra la ubicació de les estacions d'aforament utilitzades per a l'elaboració, calibració, ajustament i validació del model hidrològic. La Taula 33 mostra el nom de cada estació d'aforament, la seva ubicació geogràfica i els anys en què ha estat operativa i es disposa de sèrie de cabals.

És important assenyalar que la longitud de la sèrie temporal de dades de cabal, en molts casos no té relació amb la qualitat de les dades d'aforament. En el cas del Fluvià, l'estació d'Olot presenta les dades de millor qualitat, i per tant les seves dades van ser les primeres a ser utilitzades per a construir un primer model empíric, tipus caixa negra, i verificar la qualitat de les dades. No obstant això, Olot només correspon a una petita conca de capçalera en el Fluvià, i per tant els resultats d'ajustament no poden ser considerats com representatius de tota la conca. Addicionalment es va comptar amb altres estacions d'aforament per a les tasques de calibració i validació de model hidrològic. L'ajustament, calibració i validació del model hidrològic només s'ha dut a terme amb dades considerades com de bona qualitat i representatius de la conca.

A la conca de la Tordera hi ha 6 estacions d'aforament disponibles. No obstant això, en un primer pas s'han considerat únicament les estacions de Can Simó i Can Serra, atès que presenten millors condicions per a l'ajustament, calibració i validació del model hidrològic. Atès que ambdues estacions se situen en punts finals-intermedis de la conca, les



Figura 34. Estacions d'aforament per conca d'estudi

	Estació	X-coord	Y-coord	Nom	Any alta	Any baixa
Fluvià	453	496500	4667750	Garrigàs	1971	En operació
	13	459650	4671080	Olot	1913	En operació
	16	483440	4669700	Esponellà	1914	En operació
	40	477450	4669000	Serinyà	1943	1994
Tordera	15	457640	4614600	Sant Celoni	1923	En operació
	26	450020	4622680	La Llavina	1952	En operació
	56	466800	4623400	Hostalric	1968	En operació
	62	475860	4618520	Can Serra	1967	En operació
	81	472535	4621840	Santa Coloma	1986	En operació
	89	474675	4621100	Can Simó	1992	En operació
Siurana	41	324132	4568014	Cornudella de Montsant	1953	En operació
	9132	313345	4552435	Guiamets (CHE)	1949	1995

Taula 33. Estacions d'aforament de la conca del Fluvià utilitzades en l'estudi

dades registrades per l'estació d'aforament, poden estar representant en millor mesura el que passa en la totalitat de la conca. Addicionalment se suma l'efecte de l'aquífer present en l'últim sector de la conca, que influirà significativament en els valors de cabal base i la recàrrega de l'aquífer present a la zona. S'ha realitzat una anàlisi detallada de les dades disponibles de Can Simó i Can Serra, ja que s'han detectat errors en el registre de dades i per tant ha calgut escurçar la sèrie d'anàlisi i treballar només amb les dades de bona qualitat. Per a això també s'ha avaluat la conca mitjançant un model de tipus *black-box*, caixa negra, per analitzar la qualitat de la informació disponible.

Al Siurana, únicament hi ha dues estacions d'aforament; una situada aigües avall de l'embassament de Siurana i de la derivació de cabal cap a la conca de Riudecanyes; i una altra situada aigües amunt de l'embassament de Guiamets, regulat per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE). La part alta de la conca presenta una zona muntanyenca, amb cert nivell de precipitacions, però en les parts mitja i baixa el riu Siurana presenta un caràcter efímer, a diferència dels altres dos objectes d'estudi, de manera que es troba sec bona part de l'any.

És important assenyalar que sèries completes i contínues no van poder ser utilitzades en la majoria dels casos, ja que la qualitat de les dades no era la millor per a la realització d'aquest tipus d'estudis. No obstant això la informació continguda en les dades va permetre la construcció de dos models de base física espacialment distribuïts de conques hidrològiques.

2.4.1.2. Models de simulació hidrològica

Els models de simulació tracten de reproduir els processos hidrològics que succeeixen en una conca de la forma més rigorosa possible, de forma que, a posteriori, es puguin utilitzar per conèixer l'evolució del recurs hídric sota diferents escenaris de canvi. Hi ha múltiples models hidrològics en el mercat distingint-se entre models globals (càlculs a nivell de conca), semidistribuïts (càlculs a nivell de subconca) i distribuïts (càlculs a nivell de píxel).

La calibració i validació, i el coneixement que es tingui respecte a aquesta tècnica serà clau per a l'obtenció de resultats acceptables de la realitat. Per aquesta mateixa raó en aquesta fase influeixen diferents variables que han de ser pròpiament estudiades a fi de conèixer el funcionament d'un sistema hidrològic a través d'un model o codi hidrològic. En primer lloc el procés de calibració i validació, correspon a la comparació dels resultats del model amb les dades observades de les estacions d'aforament de la conca en estudi. El procés consisteix a ajustar el model de tal manera d'obtenir valors propers o similars als valors registrats en l'estació d'aforament. És important esmentar que normalment es busca trobar corbes similars als registres reals i, fins i tot més important, coincidir en els cabals punta i cabals base. Si bé és cert que és un procés complex de dur a terme, es poden esperar variacions entre les dades observades i simulades. Variacions del 10-15% poden ser fins i tot tolerades donada la magnitud dels resultats que s'estan calculant.

En aquest projecte s'han fer servir dos aproximacions metodològiques diferents en funció del model hidrològic emprat: HEC-HMS 3.4 i SWAT.

HEC-HMS 3.4

Per al cas del Fluvià i la Tordera es van fer ajustaments amb les millors sèries de dades disponibles per a les tasques de calibració i validació. Malgrat això la qualitat de la informació va jugar un rol important a l'hora de triar aquestes dades. Així, s'hagué de comptar amb períodes de curta durada, que va comportar haver d'eliminar de la calibració els 3-4 primers mesos de la simulació degut a la manca de dada inicial de l'estat d'humitat del sòl, la influència del qual desapareix més o menys entre 3 a 6 mesos. S'espera que el model preliminarment trobi un estat d'equilibri que permeti obtenir millors resultats al final de la simulació.

Per contra, el cas del Siurana va ser pres com una situació especial de conca sense estacions de mesurament (absència d'estacions d'aforament), i per tant l'ajustament es va realitzar solament considerant les característiques físiques de la conca a través d'informació bibliogràfica i visites de camp, estimant amb el millor criteri els paràmetres de pèrdues de precipitació, de transformació pluja cabal i de circulació de cabals per les lleres.

El model digital d'elevacions utilitzat treballa a una resolució espacial de 30 metres. Les pèrdues de precipitació es descriuen amb el model SMA inclòs en el codi HMS. La transformació pluja-cabal utilitza el mètode de Clark modificat, ajustat a treballar amb

una informació espacial de la xarxa de topografia, usos del sòl, etc. La circulació de cabals es descriu amb models de tipus ona cinemàtica.

Les següents figures mostren els resultats de calibració i validació per a les conques del Fluvià i la Tordera per a diferents períodes de temps, tots ells d'un mínim de 2 a 3 anys.

A causa de la dificultat de comptar amb sèries de dades completes i de bona qualitat, la calibració s'ha fet amb sèries curtes de 2 o més anys. Per a aquest cas a la conca del Fluvià, s'ha calibrat el model amb una sèrie de dades des del 01/01/1987 al 30/11/1989 a l'estació de Garrigàs. Amb aquest objectiu, s'han realitzat múltiples anàlisis en diferents punts de la conca a fi de trobar paràmetres mitjos d'ajustament de la conca hidrològica. Com s'observa a la Figura 35, s'ha assolit un ajustament acceptable en termes de la forma del hidrograma. Addicionalment els volums entre els cabals observats i simulats tenen un error de sobreestimació al voltant de l'1.5%. En termes hidrològics aquesta diferència és mínima i denota que la calibració ha estat dut a terme amb èxit.

Per a la validació del model s'ha analitzat una sèrie de dades diferent a l'anterior, en concret el període de 1985 a 1987 ambdós inclusivament. La Figura 36 mostra que la validació del model és correcta en la forma del hidrograma i també en termes de cabal, i de volum d'aportació total registrat durant l'interval de temps analitzat. Es va trobar que la diferència de volum d'aportació entre l'observat i el simulat és al voltant de 2%. Aquesta diferència correspon a una sobreestimació del volum real.

Cabal (m³/segon). Fluvià. Calibració del model.

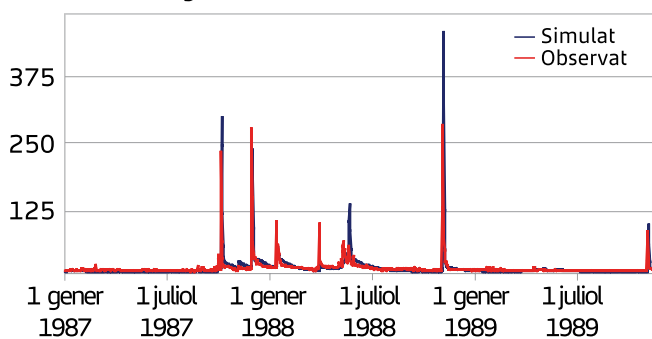


Figura 35. Calibratge de la conca del Fluvià per al període comprès entre 1987 i 1989.

Cabal (m³/segon). Fluvià. Calibració del model.

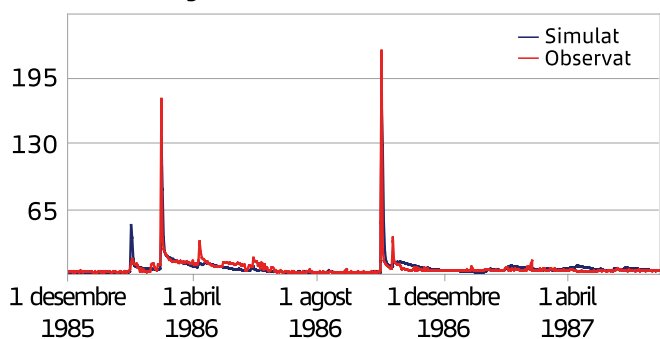


Figura 36. Validació de la conca del Fluvià per al període comprès entre 1985 i 1987.

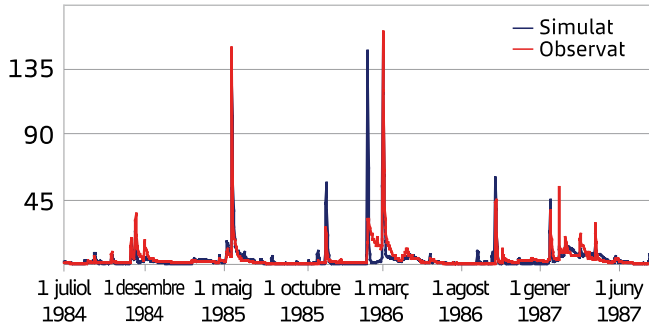
Caball (m³/segon). Tordera. Calibració del model.

Figura 37. Calibratge de la conca de la Tordera per al període comprès entre 1984 i 1987.

Per al cas de la Tordera, el model hidrològic s'ha calibrat per la sèrie de dades des del 01/01/1984 fins al 31/07/1987. Els resultats es mostren a continuació. La Figura 37 mostra que l'hidrograma simulat representa en gran mesura la forma de la corba de cabal real. Addicionalment i a través de treballs anteriors, es van realitzar ajustaments i calibracions en l'estació de Can Simó a fi determinar els millors paràmetres d'ajustament per al model. Finalment amb la informació obtinguda d'aquestes simulacions, s'ha calibrat i validat el model amb l'estació de Can Serra, que correspon al punt més proper a la desembocadura de la conca. En termes de volum es pot dir que la calibració també ha estat bo, ja que s'arriba a tenir una diferència del voltant de 5%. Aquesta diferència està dins del rang esperat, considerant la grandària total de la conca en estudi.

La validació del model s'ha dut a terme amb la sèrie de dades del 30/06/2005 al 30/09/2006, i els resultats es mostren a continuació. Novament s'observa una bona aproximació de la realitat realitzada pel model (Figura 38). S'ha reproduït la forma de l'hidrograma observat de cabals i la diferència entre el volum d'aportació observat i simulat és del voltant de l'1.5%. Aquesta diferència seria una subestimació del valor real registrat en l'estació d'aforament.

SWAT 2005

SWAT (Soil and Water Assessment Tool), desenvolupat pel Servei de Recerca del Departament d'Agricultura d'Estats Units,

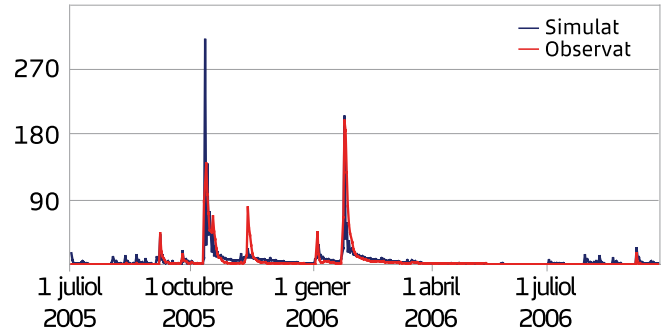
Caball (m³/segon). Tordera. Calibració del model.

Figura 38. Validació de la conca de la Tordera per al període comprès entre 2005 i 2006.

USDA (Neitsh et al., 2002). SWAT és un model hidrològic físic semi-distribuït (modelitza a nivell d'unitat de resposta hidrològica HRU i dona el resultat en forma de balanç agregat) i continua que estima el cabal superficial i subsuperficial, l'erosió i deposició de sediments i els moviments de nutrients a la conca. Permet fer prediccions del comportament a llarg termini de conques hidrogràfiques complexes, especialment avaluar els efectes de diferents escenaris de gestió o de condicions ambientals. El model es pot acoblar al SIG (versió ArcSWAT), permetent la distribució espacial dels paràmetres i variables d'entrada del model en cada punt de la conca.

El model està constituït per una sèrie de submodels o mòduls, que simulen els diferents processos hidrològics. SWAT es basa en l'equació general del balanç hídric a partir de dades meteorològiques, de sòl, d'usos de sòl i d'elevació:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}$$

On SW_t és el contingut final d'aigua al sòl, SW_0 és el contingut inicial d'aigua al sòl, t el temps, R_{day} la precipitació, Q_{surf} l'escolament superficial, E_a l'evapotranspiració, w_{seep} és la quantitat d'aigua emmagatzemada a la zona no saturada i Q_{gw} és la quantitat d'aigua que torna al riu com a cabal base.

Per fer la modelització, la conca es divideix en subconques, fet que permet distingir àrees amb usos de sòl, tipus de sòl i cotes diferents que influencen en

processos com l'evapotranspiració o la distribució de la precipitació. Alhora, les subconques es divideixen en unitats de resposta hidrològica (HRU), que són àrees amb una mateixa coberta de sòl, tipus de sòl i pendent. SWAT considera que aquestes unitats tenen una resposta hidrològica similar i calcula els processos físics per unitat (escolament, evapotranspiració real, humitat del sòl, ...).

Cicle hidrològic a SWAT

A continuació es fa un resum seqüencial dels processos hidrològics incorporats al SWAT així com les equacions i mètodes que permet aplicar en funció del procés.

- Intercepció i emmagatzematge per part de la vegetació: És l'aigua interceptada per les superfícies vegetals que s'emmagatzema i posteriorment s'evapora.
- Infiltració: L'aigua que no queda retinguda per la vegetació arriba al sòl i s'infiltra o es converteix en escolament superficial. La infiltració depèn del contingut inicial d'humitat del sòl i a mesura que se satura el sòl, disminueix la taxa d'infiltració. Quan l'escolament superficial es calcula pel mètode de número de corba, la infiltració s'estima com la diferència entre la quantitat d'aigua que arriba al sòl i les pèrdues per escolament superficial. Quan s'aplica el mètode de Green & Ampt, la infiltració depèn de la conductivitat hidràulica del sòl i la *matriu potencial d'humitat* (wetting front matrix potencial)
- Redistribució de l'aigua al sòl: Es refereix al moviment d'aigua dins del perfil del sòl una vegada acabada l'aportació d'aigua en funció del contingut d'humitat. SWAT aplica un model d'emmagatzematge (multilayer storage routing technique) per dividir el contingut d'aigua al sòl de cada horitzó en flux lateral i percolació. El flux lateral és l'aigua que aporta cabal a la llera i que passa a través del perfil del sòl. La percolació ocorre quan es supera la capacitat de camp del sòl i l'horitzó inferior no està saturat. La velocitat de percolació depèn de la conductivitat hidràulica del sòl.
- Evapotranspiració: Inclou tots els processos pels quals l'aigua en fase líquida o sòlida torna a ser vapor d'aigua atmosfèric: evaporació de rius i llacs, de sòls i de superfície vegetal; transpiració vegetal; i sublimació del gel o la neu. SWAT permet estimar l'evapotranspiració potencial per tres mètodes: Hargreaves, Priestley-Taylor i Penman-Monteith. Posteriorment es computa de manera separada l'evaporació real del sòl i la transpiració de la vegetació, en funció de la profunditat i el contingut d'humitat del sòl i l'índex d'àrea foliar.
- Escolament superficial: És l'aigua que escola per la superfície del sòl. El volum d'escolament superficial s'estima pels mètodes de número de corba (USDA) o d'infiltració Green & Ampt. El cabal punta s'estima segons el mètode racional modificat.
- Flux lateral: És l'aigua que arriba a la llera des dels horitzons de sòl saturats (0 a 2m). L'aportació lateral es calcula amb un model d'emmagatzematge kinemàtic, en funció de la conductivitat del sòl, el pendent, la longitud i el contingut d'aigua al sòl
- Flux subterrani: El flux base es defineix com el volum de cabal de la llera originat a l'aigua subterrània. SWAT divideix l'espai subterrani en dos sistemes d'aquífer, un superficial i no confinat que contribueix al cabal base i un profund i confinat que aporta aigua a lleres fora de la conca. L'aigua que percola a través del sòl passa a ambdós aquífers. De la mateixa manera, l'aigua de l'aquífer superficial pot tornar al sòl quan estigui sec i pot ser absorbit per les plantes.
- Propagació d'avingudes: SWAT aplica els models d'emmagatzematge variable (Variable Storage) i de Muskingum per calcular l'evolució de l'hidrograma d'avinguda a la conca. Es consideren dos tipus de lleres (llera principal i tributaris) per propagar els hidrogrames de sortida en les subconques que no tinguin el seu punt de desguàs justament en el punt de sortida de la conca general. Els paràmetres de les lleres tributaries determinen els temps de concentració de cada subconca. El cabal pot ser

reduït per les pèrdues de filtració del llit que passen a l'aquífer inferior del llit.

Dades d'entrada al model

SWAT requereix d'una sèrie d'inputs per poder treballar:

- Model digital d'elevacions: S'ha emprat el MDE de resolució espacial 30 m de l'Institut Cartogràfic de Catalunya. Amb la cota, SWAT delimita la superfície de la conca, les subconques i el pendent
- Sòls: SWAT necessita informació de la textura, profunditat, matèria orgànica, capacitat de camp, ... per cada tipus de sòl. S'han emprat els mapes de sòl desenvolupats específicament pel projecte per aquesta finalitat.
- Cobertes del sòl: S'ha fet servir el Mapa de Cobertes de Sòl de Catalunya (MCSC), versió de l'any 2000 i nivell 3, que classifica els usos en 61 classes. SWAT requereix per cada tipus de cobertura valors de número de corba, índex d'àrea foliar, conductància estomatal, etc.
- Dades climàtiques: S'han fet servir les sèries de les estacions meteorològiques de l'AEMET i el SMC.

S'han delimitat 16 subconques pel Fluvià, 17 per la Tordera i 15 pel Siurana (Figura 39).

Calibració i validació del model

La primera fase de la modelització, i la part més important del procés, és la calibració del model

hidrològic. Per portar a terme aquesta fase es comparen els resultats del model amb les dades observades a les estacions d'aforament. En calibrar, es canvien els valors dels paràmetres hidrològics de major influència de forma que el model doni valors semblants als registrats, especialment en el referent a cabals punta (màxims) i cabals base. Durant la calibració s'han prioritzat les següents objectius: (1) que les corbes simulades i observades fossin semblants, principalment quant a cabals punta i base; (2) que els valors promitjos i total de cabal del període fossin similars; i (3) que el coeficient d'eficiència de Nash i Sutcliffe (NSE) fos pròxim a 1 i la relació de l'observació de la desviació estàndard-RMSE (RSR) fos pròxim a 0. L'estadístic normalitzat NS és àmpliament utilitzat en estudis hidrològics i determina la magnitud relativa de la variància dels residus ("soroll") comparada amb la variància de les dades mesurades ("informació"). L'estadístic varia entre $-\infty$ i 1, essent 1 el valor més òptim. L'estadístic RSR estandarditza l'estadístic RMSE (arrel de l'error quadràtic mitjà). Moriasi et al. (2007), proposen els següents límits per avaluar la bondat de l'ajust segons aquests estadístics a nivell mensual:

Relació d'ajust	RSR	NSE
Molt bo	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$1.00 \leq NSE < 0.75$
Bo	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.75 \leq NSE < 0.65$
Satisfactori	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.65 \leq NSE < 0.5$
Insatisfactori	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.5$

Taula 34. Relacions d'ajust general per als estadístics recomanats en hidrologia a nivell mensual segons Moriasi et al.

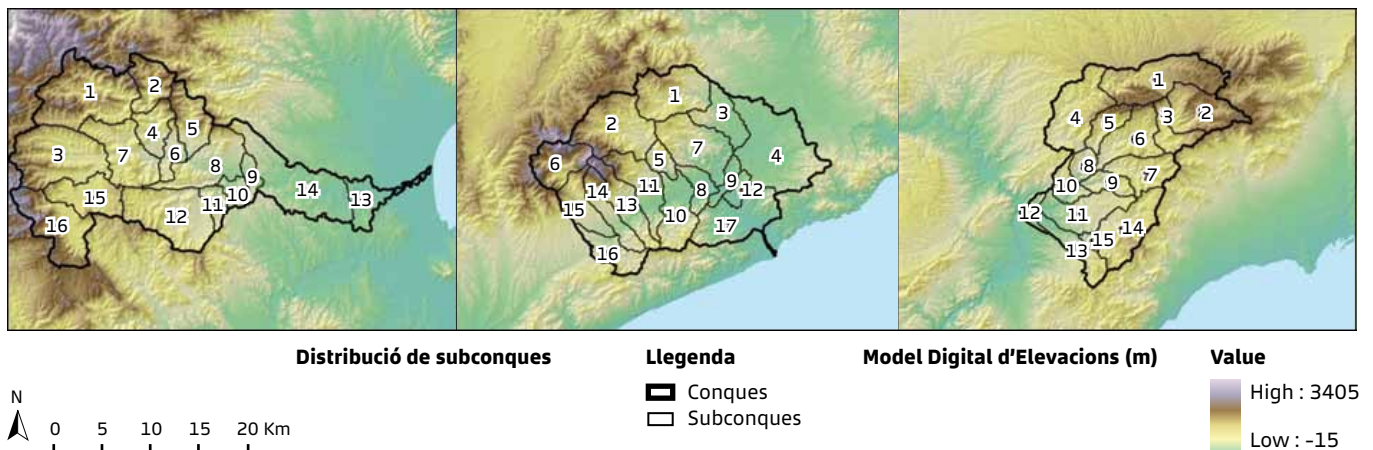


Figura 39. Delimitació de conques i subconques a partir del Model Digital d'Elevacions.

La segona fase de la modelització és la validació del model calibrat. La validació mesura la capacitat predictiva del model comparant els valors observats amb els simulats en un període diferent al de calibració.

Com ja s'ha explicat a l'apartat d'estacions d'aforament, les sèries de dades de cabal a les tres conques són força incompletes i presenten períodes de temps sense dades o amb dades poc fiables. Per aquesta raó no s'ha pogut calibrar el model amb la sèrie continua de 25 anys (1984-2008), sinó que s'ha fet a partir de períodes més curts, de dos o tres anys, sempre a nivell diari.

Calibració i validació del model pel Fluvià

Per la calibració de la conca completa s'ha fet servir el període 1987-1989 de l'estació de Garrigàs, que es troba al tram final de la conca. Prèviament s'han realitzat ajustos en altres punts de la conca amb dades d'aforament també disponibles (Olot i Esponellà) per calibrar els paràmetres hidrològics de forma espacial. S'han tingut en compte les extraccions d'aigua de la conca per satisfer les demandes actuals, així com el transvasament natural d'aigua subterrània des de l'Alta Garrotxa cap a altres punts de la conca (principalment riera de Serinyà) i cap a fora de la conca (majoritàriament a l'estany de Banyoles,

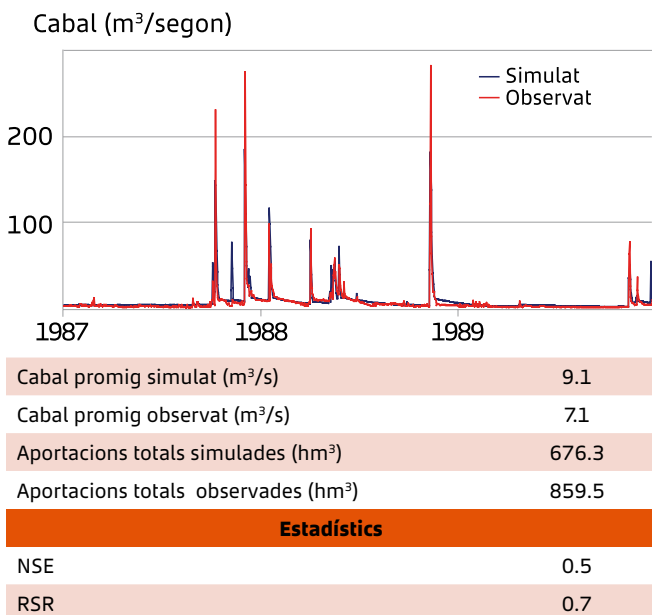


Figura 40. Resultats de la calibració de la conca del Fluvià a Garrigàs pel període 1987-1989.

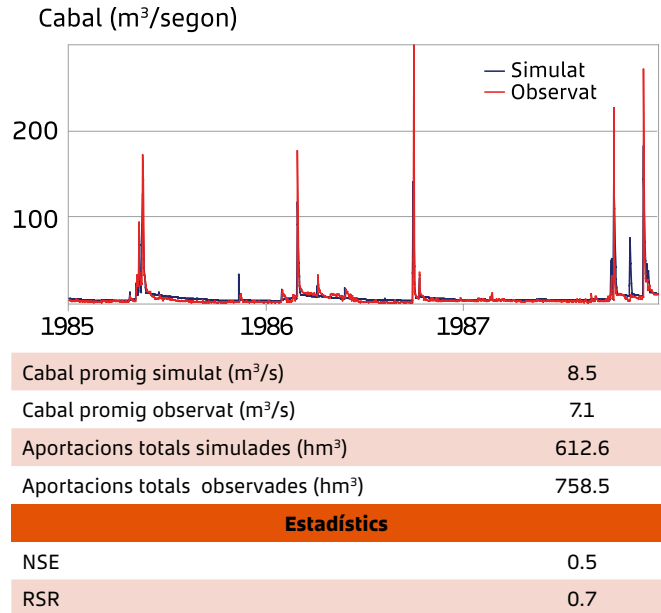


Figura 41. Resultats de la validació de la conca del Fluvià a Garrigàs pel període 1985-1987.

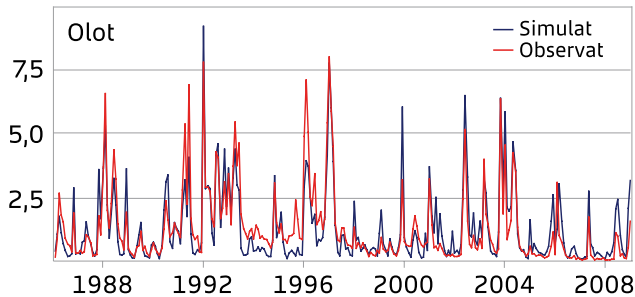
situat a la conca del riu Ter, i estimada en 12 hm³/any de mitjana segons EPTISA, 1988)

Com s'observa a la Figura 40, la corba simulada s'ajusta bé als valors observats de cabal, encara que subestima els pics màxims. Si es miren els valors promitjos de cabal, les aportacions anuals i els estadístics, el model està sobreestimant els valors totals en un 27%. El valor de l'estadístic NSE mostra un ajust satisfactori, tenint en compte que està avaluant les dades diàries, més difícils de quadrar que els valors mensuals.

La validació s'ha efectuat amb les dades de 1985-1987 a la mateixa estació d'aforament. El model sobreestima els cabals en un percentatge inferior (20%) i els estadístics mostren un ajust satisfactori.

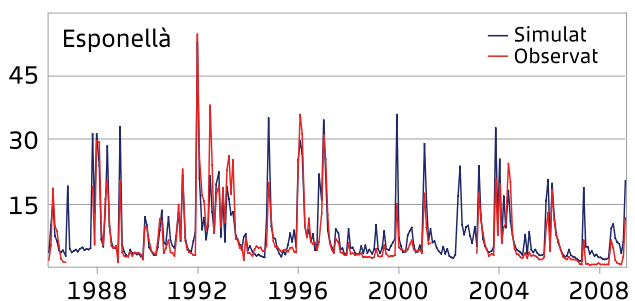
Encara que la calibració i validació s'hagi fet a nivell diari, per ajustar-se a la corba de recessió de l'hidrogràfic, s'ha intentat que la calibració també donés uns resultats satisfactoris a nivell mensual, que és la escala temporal a la qual es referiran tots els resultats del projecte. A nivell mensual, els estadístics mostren un ajust bo (molt bo pel cas d'Olot), i el model dona una sobreestimació mitjana dels cabals del 15 % pel tram final del riu.

Cabal (m³/segon)



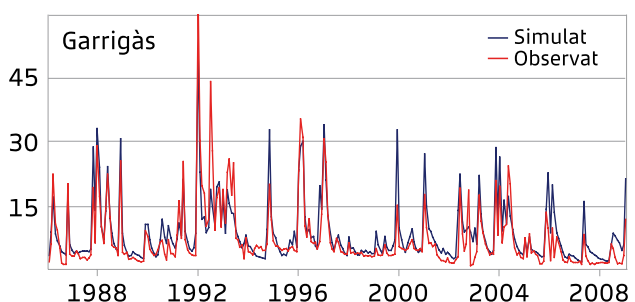
Cabal promig simulat (m³/s)	1.2
Cabal promig observat (m³/s)	1.2
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	39.1
Aportació mitjana observada (hm³/any)	39.3

Estadístics	
NSE	0.8
RSR	0.5



Cabal promig simulat (m³/s)	8.4
Cabal promig observat (m³/s)	7.2
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	258.4
Aportació mitjana observada (hm³/any)	225.1

Estadístics	
NSE	0.6
RSR	0.6



Cabal promig simulat (m³/s)	8.5
Cabal promig observat (m³/s)	7.3
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	268.7
Aportació mitjana observada (hm³/any)	231.2

Estadístics	
NSE	0.7
RSR	0.5

Figura 42. Resultats de la calibració mensual del Fluvià pel període d'estudi (1984-2008). Els resultats dels dos primers anys no es mostren per eliminar la influència del punt inicial de la simulació, quan la humitat d'aigua al sòl és 0.

Aquests resultats pel Fluvià són coherents amb els proposats per l'ACA a l'Estudi d'actualització de l'avaluació de recursos hídrics de les conques internes de Catalunya i conques catalanes de l'Ebre". Aquest estudi avalua l'estat dels recursos superficials a Catalunya estimant les sèries d'aportacions naturals mensuals en totes les conques durant el període de 61 anys comprès entre 1940-1941 i 1999-2000. Aquesta estimació es fa a partir del model hidrològic SACRAMENTO, calibrat amb les dades d'aforament i embassaments. La Taula 35 mostra els valors d'aportació anual mitjana i cabal diari mitjà en cada estació d'aforament del Fluvià segons el model Sacramento. Pel tram final de la conca s'observa que SWAT sobreestima en un 4-6% els resultats de Sacramento.

Estació d'aforament	Aportació anual mitjana (hm³/any)	Cabal diari mitjà (m³/s)
Olot	46.95	1.49
Esponellà	243.96	7.73
Garrigàs	257.93	8.17

Taula 35. Valors d'aportacions i cabals pel Fluvià segons els resultats del Sacramento pel període 1940-2000.

Calibració i validació del model per la Tordera

Per la calibració de la conca completa s'ha fet servir el període 1996-1999 de l'estació de Can Simó, al tram final de la conca. Prèviament s'han realitzat ajustos en altres punts de la conca on hi havia dades d'aforament disponibles, com la Llavina, Sant Celoni, Hostalric i Santa Coloma. S'han tingut en compte les extraccions d'aigua de la conca per satisfer les demandes actuals.

Pel cas de la Tordera, el model estima millor els cabals punta i la corba simulada s'ajusta bé als valors observats de cabal, encara que si es miren els valors promitjos de cabal i les aportacions anuals, el model sobreestima en un 19%. El valor de l'estadístic NSE mostra un ajust satisfactori. La validació s'ha efectuat amb les dades de 2002-2004 (fins al mes d'abril) a la mateixa estació d'aforament. El model sobreestima els cabals en un percentatge molt inferior (8%) encara que els estadístics mostren un ajust insatisfactori.

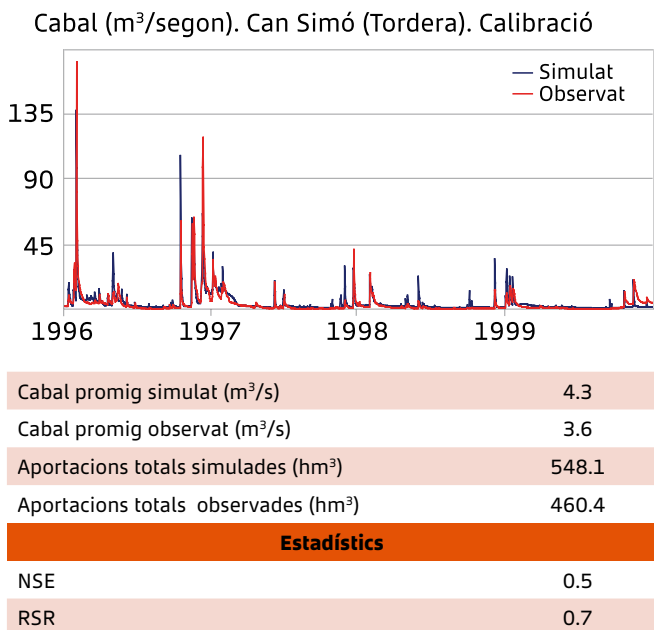


Figura 43. Resultats de la calibració de la conca de la Tordera a Can Simó pel període 1996-1999.

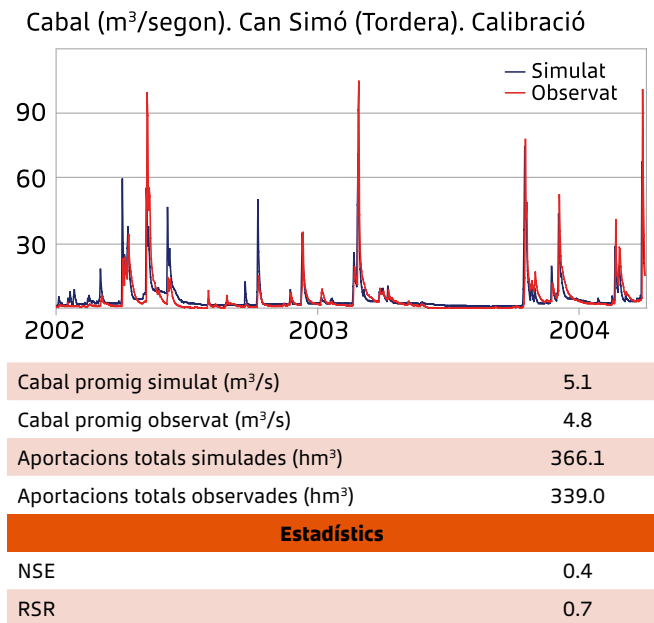
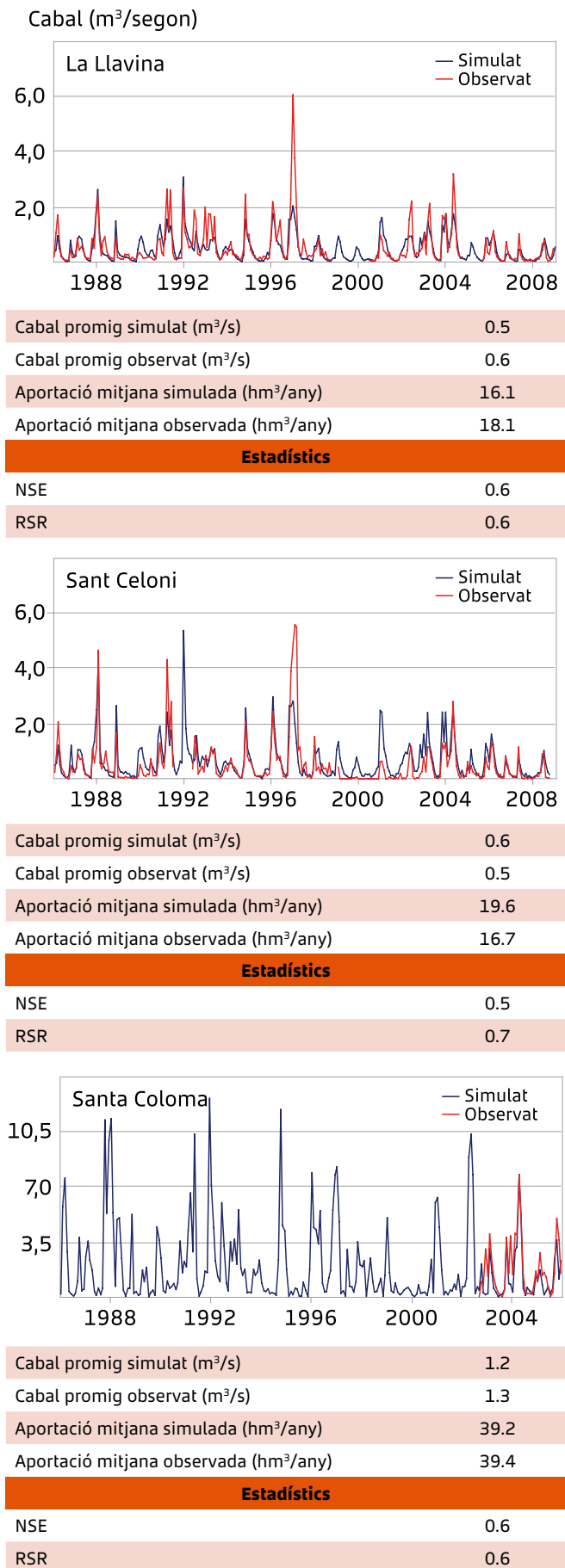
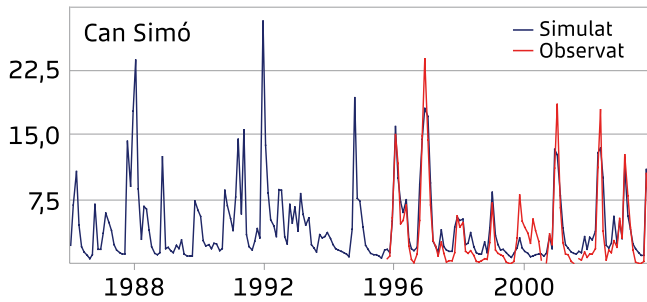


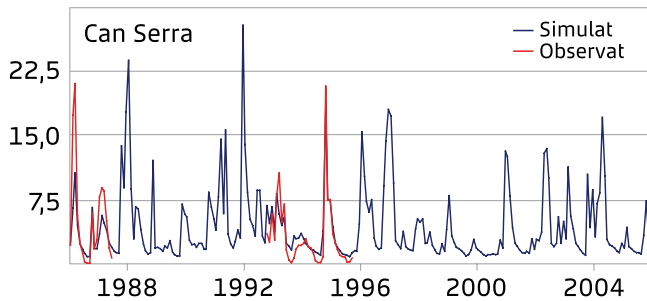
Figura 44. Resultats de la validació de la conca de la Tordera a Can Simó pel període 2002-2004.

Si es miren els resultats de la calibració a nivell mensual, els estadístics mostren un ajust bo i satisfactori. Per a tot el període del que es disposen dades, el model sobreestima en un 10% els valors de cabal a Can Simó.





Cabal promig simulat (m³/s)	3.9
Cabal promig observat (m³/s)	3.5
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	128.5
Aportació mitjana observada (hm³/any)	109.4
Estadístics	
NSE	0.8
RSR	0.4



Cabal promig simulat (m³/s)	3.6
Cabal promig observat (m³/s)	3.8
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	120.6
Aportació mitjana observada (hm³/any)	130.2
Estadístics	
NSE	0.7
RSR	0.5

Figura 45. Resultats de la calibració mensual de la Tordera pel període d'estudi (1984–2008). Els resultats dels dos primers anys no es mostren per eliminar la influència del punt inicial de la simulació, quan la humitat d'aigua al sòl és 0.

Novament s'ha comparat els resultats de la modelització SWAT amb els proposats per l'ACA en la restitució dels cabals a règim natural amb Sacramento. La Taula 36 mostra els valors d'aportació anual mitjana i cabal diari mitjà en cada estació d'aforament de la Tordera segons el model Sacramento. En aquest cas, els resultats de SWAT subestimen els valors de cabal respecte al Sacramento. Aquest fet es pot explicar parcialment perquè els valors de Sacramento no tenen en compte les extraccions d'aigua pels diferents usos. Per exemple, abans de l'estació de Sant Celoni hi ha una derivació d'aigua pel reg de Santa Maria i

Sant Esteve de Palautordera, i al tram final de la Tordera les demandes urbanes són elevades.

Estació d'aforament	Aportació anual mitjana (hm³/any)	Cabal diari mitjà (m³/s)
La Llavina	21.91	0.69
Sant Celoni	35.31	1.12
Santa Coloma	46.49	1.47
Can Simó	157.00	4.98
Can Serrà	158.57	5.02

Taula 36. Valors d'aportacions i cabals per la Tordera segons els resultats del Sacramento pel període 1940–2000.

Calibració i validació del model pel Siurana

La calibració del model al Siurana ha estat més complexa que les altres conques degut a la manca de sèries de cabal de les estacions d'aforament. L'ACA únicament disposa d'una estació d'aforament de llarga duració a la conca, situada a Cornudella de Montsant, que es troba aigües avall de la derivació de Riudecanyes. A banda d'això, l'ACA disposa dels registres de volum emmagatzemat diari a l'embassament de Siurana, estimat en funció de la cota a la qual arriba l'aigua dins de l'embassament, i de les derivacions diàries cap a Riudecanyes. Per aquest embassament, també hi ha el registre de cabal de sortida que cada dia es deixa anar a través de les comportes de la presa. De l'embassament de Margalef, el DAR (Departament d'Agricultura,

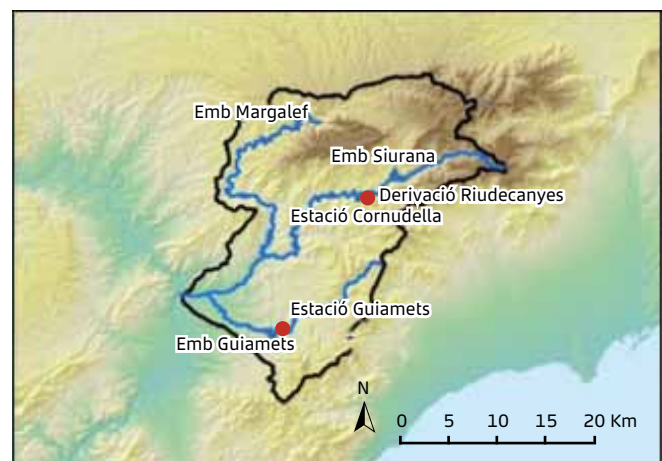


Figura 46. Localització dels embassaments i estacions d'aforament de l'ACA i la CHE a la conca del Siurana.

Alimentació i Acció Rural) disposa d'una estimació de cabal d'entrada diari a l'embassament en funció de la cota de l'aigua. Aquesta sèrie de cabal es va mesurar explícitament per plantejar el projecte de recreixement de la presa i només hi ha dades pel període 02/03/2000 - 31/12/2008. La riera de Guiamets, gestionada per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre, té una estació d'aforament abans de l'embassament, però sense gaires registres de cabal (únicament 01/10/1993-14/01/1995; 19/10/1995-20/09/1996). La CHE també disposa dels registres de volum emmagatzemat a l'embassament així com el registre de cabal de sortida.

SWAT permet la incorporació d'embassament (*reservoir*) així com la seva gestió a les simulacions hidrològiques. El model necessita informació d'entrada referent a la capacitat màxima de l'embassament, superfície ocupada, data de construcció, ... així com de les sortides cap al curs fluvial.

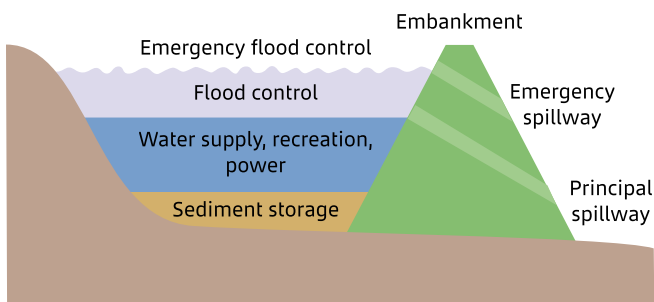


Figura 47. Components d'un embassament que incorpora SWAT per fer les simulacions (font Neitsch et a.l)

El model estima l'equació del balanç hídric per embassaments a través de la fórmula:

$$V = V_{stored} + V_{flowin} - V_{flowout} + V_{pcp} - V_{evap} - V_{seep}$$

On V és el volum d'aigua a l'embassament al final del dia (m^3 d'aigua), V_{stored} és el volum d'aigua emmagatzemat a l'inici del dia (m^3 d'aigua), V_{flowin} és el volum d'aigua entrant a l'embassament (m^3 d'aigua), $V_{flowout}$ és el volum d'aigua sortint l'embassament (m^3 d'aigua), V_{pcp} és el volum de precipitació que cau sobre l'embassament (m^3

d'aigua), V_{evap} és el volum d'aigua evaporada de l'embassament i V_{seep} és el volum d'aigua infiltrada a la base de l'embassament.

El model permet modelitzar quatre procediments de buidatge de l'embassament:

- A partir de valors diaris de cabal de sortida
- A partir de valors mensuals de cabal de sortida (valor fix de cabal de sortida diari que variï mes a mes).
- A partir d'un valor constant de sortida mitjana anual, indicat per embassaments no controlats (hi ha sortida d'aigua en una quantitat fixa sempre que hi hagi suficient aigua a l'embassament).
- Sortida optimitzada per embassaments controlats

A la conca del Siurana hi ha tres embassaments que han estat incorporats a les simulacions. Les característiques d'aquests embassament es recullen a la Taula 37:

Embassament	Capacitat màxima (hm^3)	Superfície màxima (ha)	Any de construcció	Dades de gestió disponibles
Siurana	12.0	85.0	1973	Cabals diaris de sortida
Margalef	2.84	31.8	1990	-
Guiamets	10.0	62.0	1983	Cabals diaris de sortida

Taula 37. Característiques dels embassaments existents a la conca del Siurana

Partint d'aquesta informació, el model SWAT s'ha calibrat amb les següents sèries de dades:

- Sèrie d'aforament de Cornudella del Montsant sumant la quantitat derivada cap a Riudecanyes
- Sèrie de cabal d'entrada estimat a l'embassament de Margalef.
- Volum emmagatzemat a l'embassament de Guiamets i de Siurana. Aquest ajust es va fer a nivell mensual amb tota la sèrie de dades (1984-2008).

Aquestes sèries de dades corresponen majoritàriament a les zones de capçalera de la conca del Siurana, ja que no es disposa de cap dada mesurada al tram final del riu. Malgrat això, cal

mencionar que la major part de l'aigua que arriba a la desembocadura del Siurana es capta a la seva capçalera, per la qual cosa aquestes sèries ja permeten calibrar la major part de la superfície receptora.

A continuació es mostren els resultats de la calibració del SWAT. Per l'estació de Cornudella s'ha fet servir

el període 1991-1993 mentre que per Margalef el període 2000-2001. La calibració de Cornudella s'ajusta bé als valors observats de cabal, sobreestimant en un 5% els valors promitjos i anuals. L'ajust de Margalef és menys satisfactori, principalment degut a la baixa qualitat de les dades de l'estació d'aforament, i el model sobreestima el cabal en un 14 %.

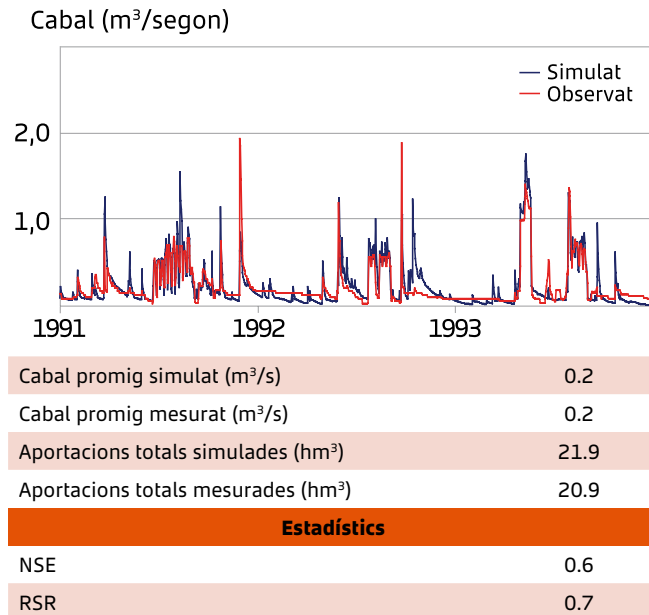


Figura 48. Resultats de la calibració de la conca del Siurana a Cornudella de Montsant pel període 1991-1993. Els polsos que s'observen als resultats es deuen a les sortides controlades de l'embassament aigües amunt.

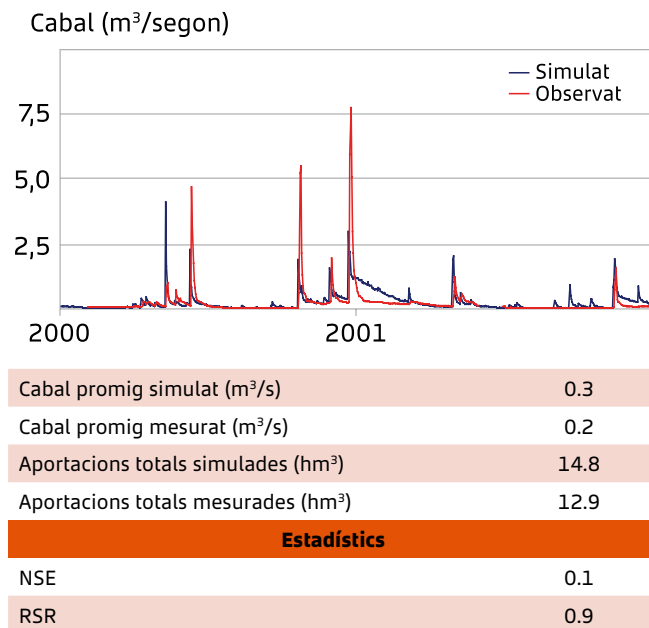


Figura 49. Resultats de la calibració de la conca del Siurana a l'embassament de Margalef pel període 2000-2001.

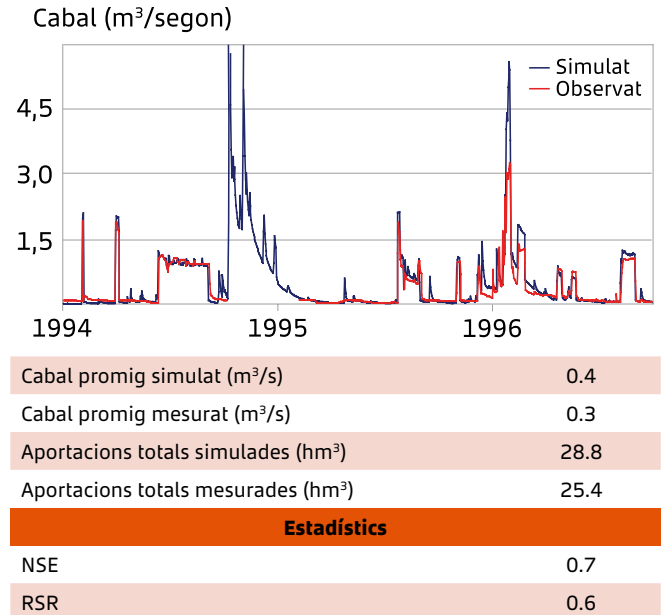


Figura 50. Resultats de la validació de la conca del Siurana a Cornudella de Montsant pel període 1994-1996. El pic de cabal simulat l'any 1994 es correspon al episodi torrencial del 09/10/1994 durant el qual es van registrar precipitacions superior a 150 mm a les estacions de les conques.

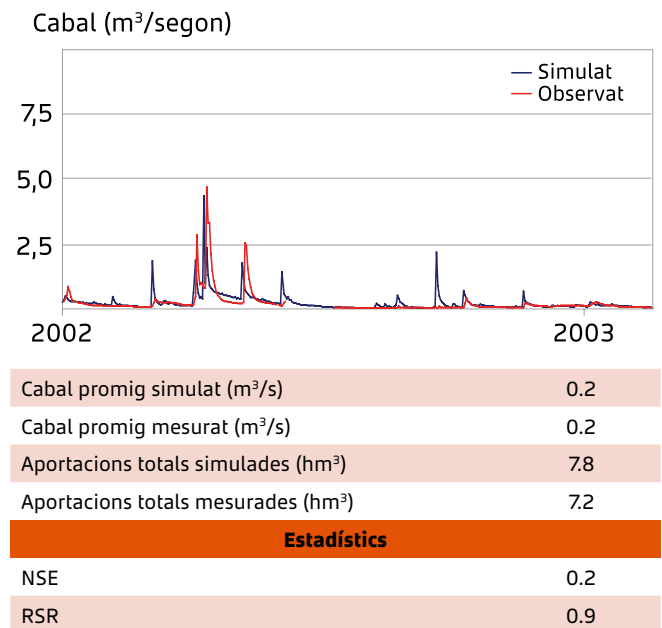
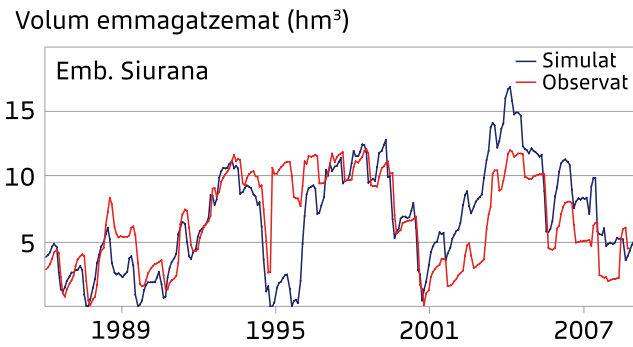


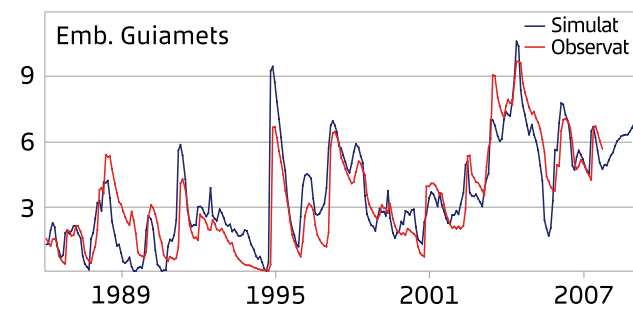
Figura 51. Resultats de la validació de la conca del Siurana a l'embassament de Margalef pel període 2002-02/2003.

La validació s'ha efectuat amb les dades de 1994-1996 per l'estació de Cornudella i 2002-2003 (fins al mes de febrer) per Margalef. El model sobreestima els valors de cabal en ambdues estacions (14 i 8 % respectivament), però la corba simulada s'ajusta bé als valors observats.

Per últim, les subconques aigües amunt dels embassaments de Siurana i Guiamets s'han calibrat a partir dels registres d'aigua emmagatzemada. S'han fet servir les sèries diàries de buidatge dels embassaements pel període 1984-2008 (els buits de les sèries s'ha omplert manualment). S'ha de tenir en compte que SWAT té una limitació a l'hora de simular embassaments controlats: quan el model té valors de sortida d'aigua, l'embassament actua



Volum promig simulat (hm³/mes)	6.7
Volum promig mesurat (hm³/mes)	6.6
Estadístics	
NSE	0.5
RSR	0.7



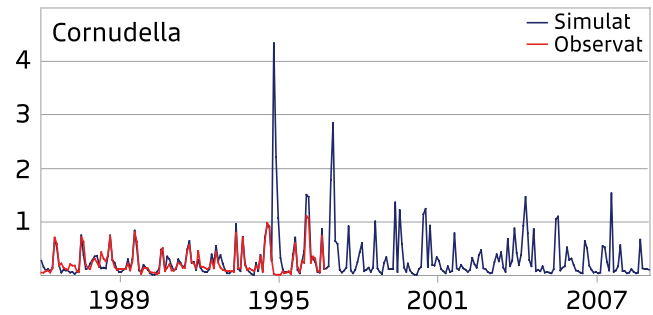
Volum promig simulat (hm³/mes)	3.4
Volum promig mesurat (hm³/mes)	3.3
Estadístics	
NSE	0.7
RSR	0.6

Figura 52. Resultats de la calibració del volum d'aigua emmagatzemat als pantans de Siurana i Guiamets durant el període 1984-2008.

com si fos una caixa tancada on només pot sortir la quantitat fixada, sense tenir en compte situació d'avingudes on l'aigua sobreexiria la presa.

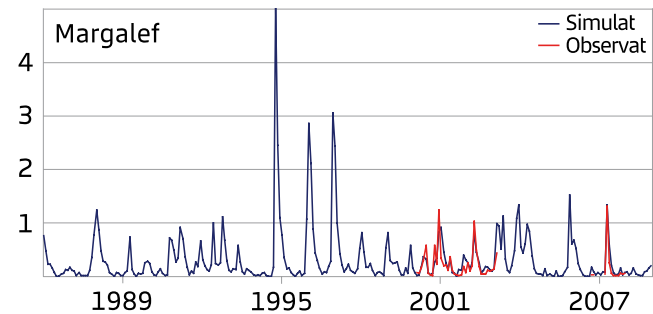
A continuació es mostren les corbes de volum emmagatzemat per Siurana i Guiamets. Els valors promitjos simulat i mesurat són molt semblants (SWAT sobreestima un 2-3%). Les diferències entre les corbes simulades i observades es deu, principalment, a dies en què no hi ha un registre d'obertura de la presa però què, revisant la corba

Cabal (m³/segon)



Cabal promig simulat (m³/s)	0.3
Cabal promig observat (m³/s)	0.2
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	7.6
Aportació mitjana observada (hm³/any)	7.1

Estadístics	
NSE	0.7
RSR	0.6



Cabal promig simulat (m³/s)	0.3
Cabal promig observat (m³/s)	0.2
Aportació mitjana simulada (hm³/any)	8.0
Aportació mitjana observada (hm³/any)	5.8

Estadístics	
NSE	0.3
RSR	0.2

Figura 53. Resultats de la calibració mensual del Siurana pel període d'estudi (1984-2008). Els resultats dels dos primers anys no es mostren per eliminar la influència del punt inicial de la simulació, quan la humitat d'aigua al sòl és 0.

de volums registrada, s'ha produït un buidatge parcial. Si es miren els resultats de la calibració a nivell mensual, els estadístics mostren un ajust bo, amb un model que sobreestima un 10% els valors a Cornudella i un 24% a Margalef.

Comparant aquests resultats del SWAT amb els proposats per l'ACA amb el Sacramento, SWAT subestima novament els valors de les aportacions, fet que novament es podria explicar perquè el Sacramento no té en compte les extraccions d'aigua, molt importants en aquesta conca que té la major superfície d'agricultura de totes.

Estació d'aforament	Aportació anual mitjana (hm ³ /any)	Cabal diari mitjà (m ³ /s)
Emb. Siurana	8.95	0.28
Emb. Margalef	10.91	0.35

Taula 38. Valors d'aportacions i cabals pel Siurana segons els resultats del Sacramento pel període 1940-2000.

2.4.2. Hidrologia subterrània

En aquest apartat es presenten els resultats corresponents als impactes produïts en els

recursos hídrics, especialment recàrrega i altres paràmetres del cicle hidrològic natural, en les masses d'aigua subterrània.

Atès que l'extensió superficial de les conques hidrogràfiques no sempre coincideix totalment amb l'extensió dels aqüífers, condicionats pels contactes geològics, les estimacions realitzades en aquest apartat solament consideren la recàrrega profunda que té lloc en les superfícies aflorants, les dimensions de les quals poden ser molt variable respecte a les masses d'aigua subterrànies afectades. Per a les conques estudiades les masses d'aigua subterrània existents són aquelles definides per l'ACA (Directiva Marc de l'Aigua, 2005). Els valors obtinguts constitueixen la recàrrega profunda a les masses d'aigües subterrànies existents i aflorants de forma total o parcialment a les conques estudiades. Per això els valors obtinguts constitueixen solament una part respecte del volum total la massa d'aigua subterrània considerada en la seva totalitat.

La Figura 54 mostra totes les masses d'aigua subterrània (53) delimitades en el marc del districte

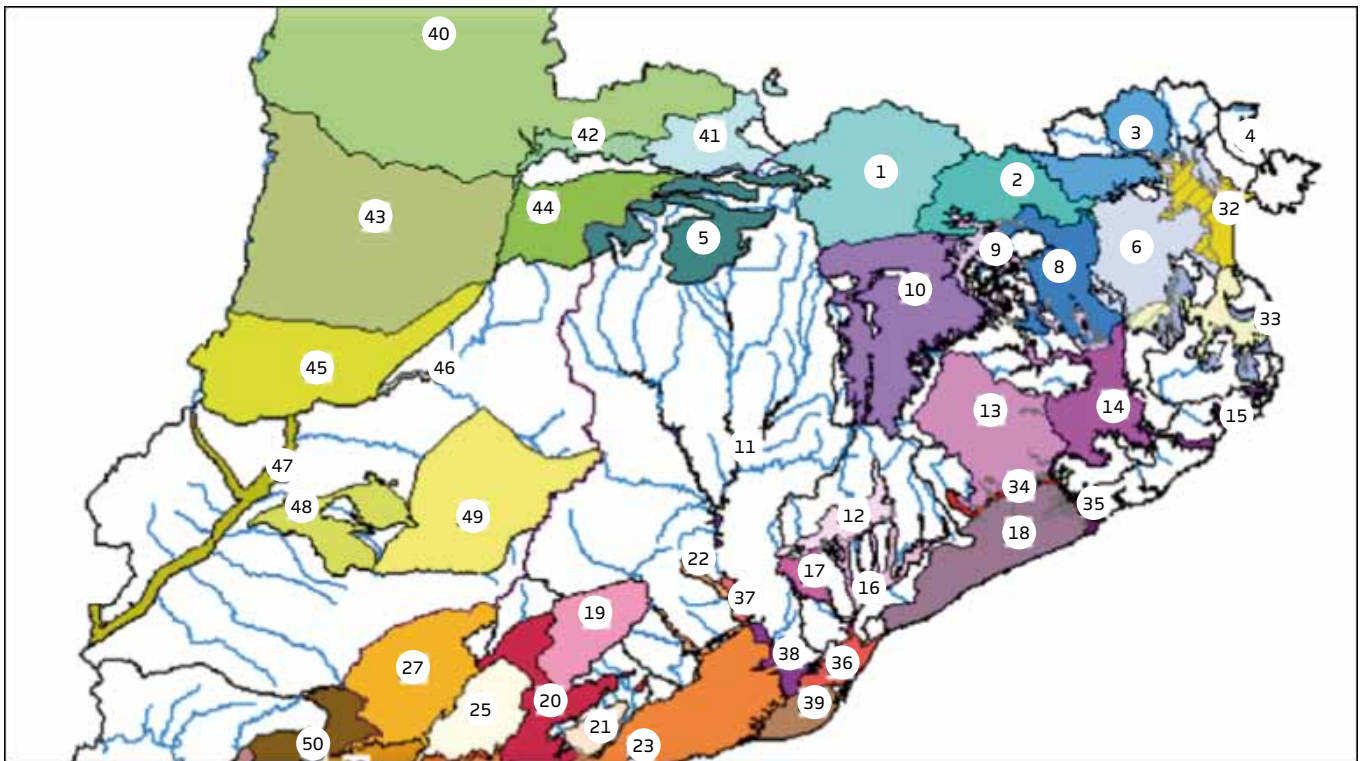


Figura 54. Masses d'aigua subterrànies. CONCA FLUVIÀ: 2-Conca Alta del Fluvià; 6-Empordà; 7-Paleògens del Baix Ter; 8-Banyoles; 9-Fluviovolcànic de la Garrotxa; 10-Plana de Vic-Collsabra. CONCA TORDERA: 13-Montseny-Guilleries; 14-La Selva; 18-Maresme; 34-AL-luvials de l'alta i mitjà Tordera AL-luvià; 3-AL-luvials de la baixa Tordera i Delta AL-luvià. CONCA SIURANA: 50-Priorat; 51-Fossa de Mora. (ACA, 2005).

de conca fluvial de Catalunya d'acord a l'aplicació de la Directiva Marc de l'Aigua. Solament les definides total o parcialment en les conques del Fluvià, Tordera i Siurana i que apareixen reflectides en l'annex 3 s'han considerat en aquest estudi.

A partir de les estacions meteorològiques i sèries històriques seleccionades els objectius hidrològics plantejats han estat:

- Generació de les sèries de precipitació i temperatura diària dels escenaris climàtics i horitzons temporals seleccionats a partir de models globals.
- Simular els escenaris futurs de recàrrega sota els escenaris climàtics A2 i B1 del IPCC per als horitzons temporals 2025 i 2050.

Els objectius específics que es plantegen per a avaluar l'impacte sobre els recursos hídrics en l'horitzó temporal 2025 i 2050 (A2, B1) es basen en combinar els escenaris climàtics futurs previstos per l'escalat del model ECHAM5 i la gestió de l'ús del sòl sota la situació actual i possibles canvis futurs climàtics o d'usos del sòl (tendencial o sostenible). Com a pas previ, indispensable per a avaluar la recàrrega, es va realitzar l'estudi corresponent de les dades climàtiques de les conques a partir de les sèries proporcionades per la AEMET. Les estacions meteorològiques analitzades, així com les dades procedents de les estacions d'aforament actuals i futures proporcionades per la ACA es mostra en el capítol corresponent d'aquesta memòria.

La metodologia emprada per a estimar la recàrrega es basa en l'aplicació del codi Visual-Balan (Samper, 1999), model numèric distribuït que calcula el balanç hídric en el sòl, zona no saturada, flux hipodèrmic i recàrrega profunda a nivell diari. Les dades han estat treballats a nivell espacial mitjançant el SIG Arc GIS 9. Per al sistema aquífer de la Tordera basat en el codi MODFLOW 2009.1 Pro, s'ha utilitzat un model de flux calibrat i validat proporcionat per l'Agència Catalana de l'Aigua.

2.4.2.1. Estimació de la recàrrega

Des del punt de vista hidrològic se sap que la recàrrega a les aigües subterrànies pot originar-se a partir de la precipitació (recàrrega directa),

aigües superficials (rius, llacs, etc.), flux entre aqüífers, retorn de regs o urbà. D'entre el tipus de recàrrega citats la de major importància pel volum que representa és l'originada per la precipitació. Per a l'estimació de la recàrrega s'utilitzen mètodes àmpliament validats i que presenten major o menor complexitat. En els estudis d'impacte derivats del canvi climàtic és freqüent l'aplicació de models basats en el mètode de balanç d'aigua, tant en el sòl com en l'aqüífer, al fonamentar-se en la descripció dels processos físics que tenen lloc en el mitjà, utilitzar informació generalment existent (precipitació, escolament, nivell piezomètric), són d'aplicació simple i ràpida i consideren totes les fonts o albellons del sistema. El seu major desavantatge és que la recàrrega s'obté a partir de la diferència d'altres fluxos d'aigua, generalment majors i difícils d'estimar. A pesar dels possibles desavantatges, en moltes ocasions, és l'únic mètode aplicable.

El càlcul del balanç en el sòl requereix informació corresponent a dades climàtiques i paràmetres del sòl a nivell distribuït, obtinguda generalment mitjançant la generació de mapes base amb la informació espacial requerida i que permeten treballar a escala de conca. L'elaboració de la informació i el seu posterior tractament generalment requereixen l'aplicació d'un SIG per a facilitar el seu tractament. La superposició de les capes GIS definides permet definir àrees amb característiques homogènies per al posterior càlcul del balanç distribuït.

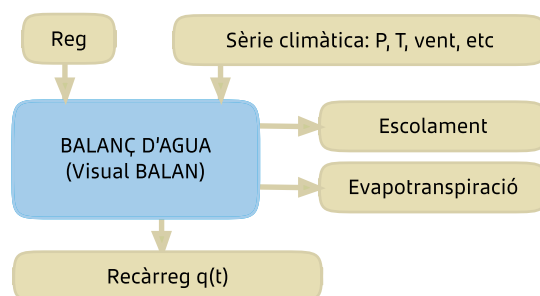


Figura 55. Model conceptual del càlcul del balanç en el sòl

Per a les tres conques s'han elaborat quatre mapes base contenint la informació corresponent a clima; usos del sòl i paràmetres del sòl; masses d'aigües subterrànies de les conques (Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya, escala 1:250.000) i finalment el mapa base de cada conca.

El mapa de clima s'ha elaborat mitjançant el mètode de polígons de Thiessen d'acord a les estacions meteorològiques existents en la zona i valors pluviomètrics. El mapa d'usos del sòl i àrees agrícoles s'ha elaborat a partir de les dades proporcionades pels equips del projecte responsables d'aquesta activitat (ETC-LUSI, IRTA). La informació corresponent paràmetres físics necessaris per a realitzar el balanç s'ha obtingut a partir de la classificació internacional dels grups hidrològics de sòls definida en els mapes de sòls. Aquesta classificació distingeix l'existència de quatre grups diferents denominats A, B, C i D.

La superposició dels diversos mapes realitzats permet obtenir el mapa base final. El mapa base generat conté els polígons d'informació homogènia apta per a calcular el balanç d'aigua el sòl, per això s'han realitzat les simplificacions pertinents relatives a la grandària dels polígons aïllats que permetessin una estimació del balanç adequada i sense originar una gran variació dels resultats finals.

El mapa final obtingut constitueix la base fonamental per a determinar la recàrrega. Per als escenaris futurs, el mapa base és convenientment modificat a partir de la nova informació espacial i per tant generar un mapa base actualitzat.

2.4.2.2. Avaluació de la recàrrega, aplicació del codi Visual Balan

La recàrrega subterrània s'ha obtingut mitjançant l'aplicació del codi Visual-BALAN (Samper et al., 1999). El programa du a terme un balanç d'aigua a nivell diari en el sòl edàfic, en la zona no saturada i en l'aqüífer. Els termes fonamentals del balanç són les entrades per precipitació i reg, i les sortides per escolament superficial, ETR, intercepció, flux hipodèrmic, flux subterrani, i la variació del contingut

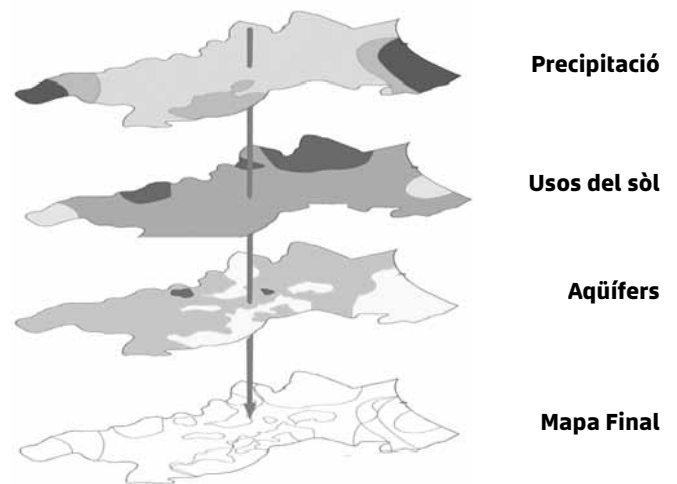


Figura 56. Generació del mapa base final per a l'estimació de la recàrrega en les masses d'aigua subterrània en les conques analitzades.

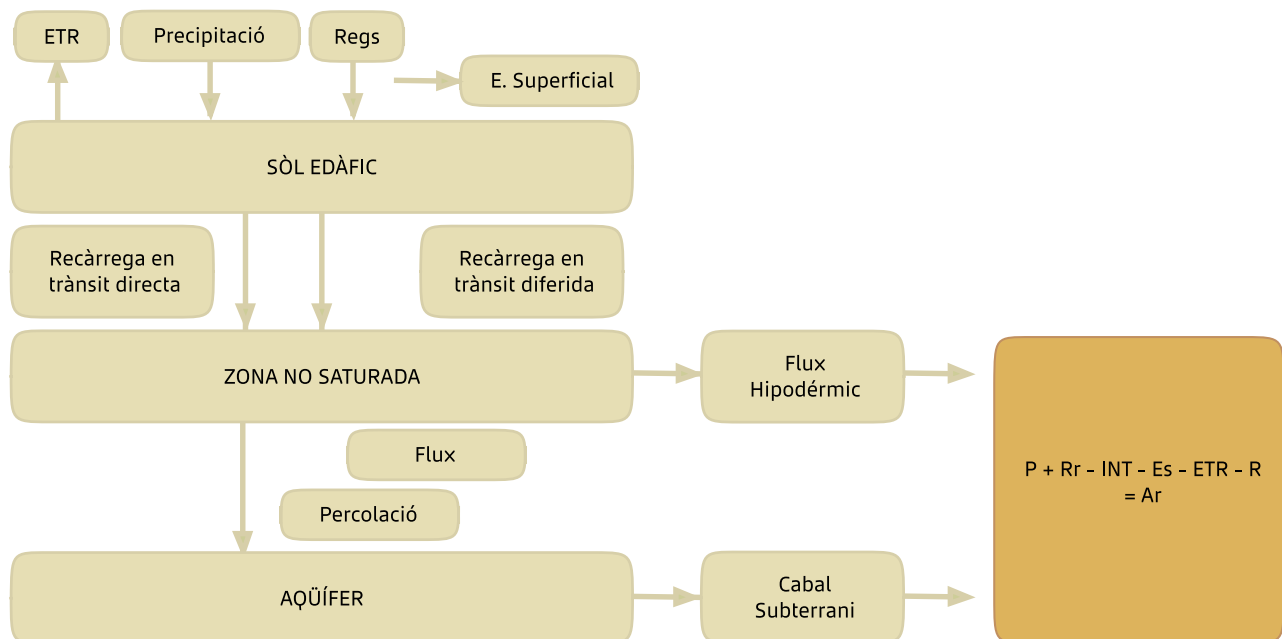


Figura 57. Esquema representatiu del funcionament de Visual-Balan. P: precipitació, Rr tornada de reg; ETR: evapotranspiració; És: escolament; INT: Intercepció per la massa forestal; R: Recàrrega a l'aqüífer; Ar: Variació de l'emmagatzematge.

d'humitat del sòl, de la zona no saturada i del nivell d'aigua en l'aqüífer. Les variables que condicionen la resposta del sistema són la funció temporal de reg i les sèries temporals meteorològiques (precipitació, temperatura, vent, etc.).

Si bé inicialment es va començar a treballar amb el codi actualitzat GIS-Balan, que simplifica enormement el tractament de les dades espacials, a causa dels problemes numèrics sorgits no resolts en l'acoblament amb el MDT, va ser necessari redefinir la metodologia de treball i procedir a aplicar la versió anterior (Visual-Balan). La utilització de Visual-Balan en l'estimació de la recàrrega a aquesta escala de treball implica realitzar els càlculs requerits de forma independent i la seva posterior integració a nivell espacial. Com a conseqüència s'ha de treballar paral·lelament amb un nombre important de fitxers d'informació i el nombre de simulacions s'incrementa amb el consegüent increment del temps de càlcul.

El model de recàrrega s'ha calibrat amb els valors de l'escolament superficial, per a això s'han utilitzat les dades d'aforament de les conques. Les estacions d'aforament seleccionades van ser Garrigàs (Fluvià), Can Serra (Tordera) i Cornudella (Siurana) situades en el tram final de les conques fluvials llevat de Cornudella. Donades les característiques d'escassetat de dades i estació d'aforaments en la conca del Siurana, com s'explica àmpliament en l'apartat corresponent a la hidrologia superficial, les dades obtingudes presenten una important incertesa.

2.4.2.3. Definició del model de recàrrega distribuïda

El codi Visual-Balan requereix per a la modelització dades d'entrada corresponents a paràmetres del sòl, regadiu, dades meteorològiques i dades espacials.

Els paràmetres físics del sòl (porositat, densitat, profunditat del sòl edàfic, composició del sòl, conductivitat hidràulica, capacitat de camp i punt de marcim) es van obtenir a partir del mapa base corresponent, esmentat en l'apartat 2. La ETR es va estimar mitjançant el mètode de Blaney-Criddle (la ETP a nivell diari va ser proporcionada per l'IRTA). Les dades de precipitació i temperatura són les procedents de les estacions situades en les

diverses conques i la descripció de les quals s'ha realitzat en l'apartat específic d'aquesta memòria i en el capítol corresponent a hidrologia superficial.

Per a cada conca i a partir de la informació aportada sobre els usos del sòl, l'àrea es va subdividir espacialment d'acord a la presència de: boscos, cultius i zones improductives (àrees urbanitzades, carreteres, sense recàrrega, etc.). Per a les zones agrícoles (regadiu i secà) es van identificar els diversos cultius existents i la dosi de reg aplicada. Respecte a les masses d'aigua subterrànies susceptibles de recàrrega definides en les diverses conques d'estudi i que es mostren en els següents apartats es va delimitar la superfície permeable (apta de recàrrega) a partir de la cartografia hidrogeològica disponible (Mapa d'àrees hidrogeològiques de Catalunya, escala 1:250.000). S'han de destacar les limitacions que presenta el fet de treballar a aquesta gran escala, però és l'única cartografia disponible actualment. El balanç diari de l'aigua en el sòl i l'estimació de la recàrrega subterrànies per a cada conca es va realitzar a partir del mapa base definit amb la informació pertinent.

El model es va executar per al període històric (1984-2008) i es va calibrar sobre la base de les dades d'aforament procedents de les estacions d'aforament de les conques, calibrats i validats mitjançant el model HEC-HMS per a 25 anys hidrològics (1984 a 2008). Això va permetre ajustar els coeficients corresponents al flux preferencial, escolament, evapotranspiració real i de recàrrega en trànsit, així com paràmetres de la zona no saturada. Les dades de calibració mostren que els resultats obtinguts amb Visual-Balan només presenten una desviació del 10% aproximadament entre els valors reals mesurats en els aforaments superficials i els valors obtinguts de l'estudi de la recàrrega distribuïda a les masses subterrànies. El valor obtingut es troba entre els marges d'error acceptables.

2.4.2.4. Model de flux. Recàrrega de l'aqüífer a la Tordera

El càlcul de la recàrrega als aquífers del '*sistema fluviodeltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera*', s'ha basat en el model numèric en règim transitori realitzat pel ACA (Document de síntesi del sistema

fluviodeltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera, Juliol 2009) en el codi MODFLOW. En aquest document s'inclou l'actualització del model de flux realitzat en 2005 calibrat i validat en règim transitori per al període d'estudi analitzat. En aquest apartat només es realitza un breu resum de l'àrea estudiada. Una major informació sobre l'aqüífer i sistema modelat es pot obtenir en l'informe *Revisió del programa de gestió dels aigües subterrànies de la Tordera*. Document de síntesi (2009).

En l'àrea estudiada es poden distingir diverses unitats hidroestratigràfiques connectades hidràulicament. L'àrea modelitzada s'estén des de la capçalera del Tordera fins a la seva desembocadura en el mar (Figura 58) i consta de 56 km² d'extensió per a l'aqüífer superficial, 18 km² el profund i 11 km² el basal. El model consta de 4 capes, essent la capa 1 la corresponent a l'aqüífer superficial que s'estén al llarg de tota la zona modelada, la 2 l'aqüítard (tascó llims) el 3 i 4 l'aqüífer profund, que en presentar diverses propietats hidràuliques i extensió s'ha subdividit en dues. Ambdós aqüífers (1 i 3) es troben en contacte cap a la zona mitja de la vall on reben la recàrrega superficial i l'aqüífer 4 no aflora en trobar-se en la zona final del delta. La malla superposada està formada per 60 files i 362 columnes de 100m x 100m (Figura 59).

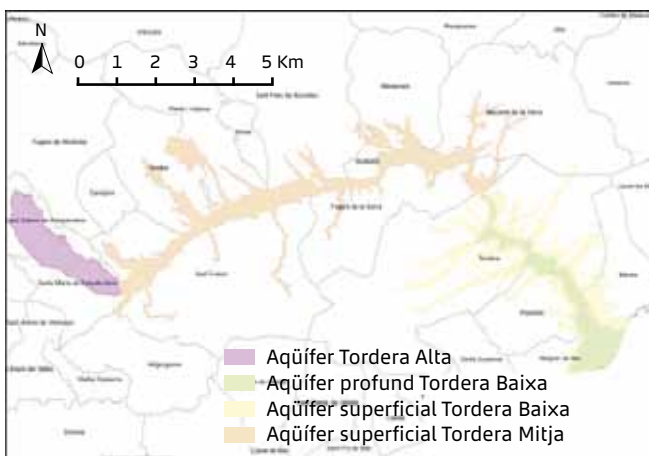


Figura 58. Àrea modelada (ACA, 2009)

En el model, el càlcul de la recàrrega natural per la pluja i tornada de reg i per al període 1984-2008 (històric) s'ha realitzat a partir de les dades de les estacions meteorològiques de Blanes i Breda. Les dades corresponents a extraccions per pous (proveïment, regadiu, indústria), nivell piezomètric, així com els pous de recàrrega

artificial existents són els procedents de l'informe del ACA. La recàrrega per precipitació i tornada de reg i balanç en l'aqüífer inicialment es va calcular per al període històric i posteriorment es va actualitzar a partir de les dades meteorològiques generats en el marc d'aquest projecte. Pel que fa al model conceptual, geometria de les capes i paràmetres hidràulics les dades corresponen al model original proporcionat pel ACA.



Figura 59. Tordera baixa, malla del model: Pous industrials (groc), proveïment (vermell), reg (verd) (ACA, 2009).

S'han realitzat dues simulacions en la unitat aqüífera amb el model descrit. Les simulacions realitzades corresponen a la resposta del sistema en les condicions històriques (model base proporcionat per l'ACA executat per al període històric 1984-2008) i la resposta produïda en els diversos termes del balanç sota l'escenari climàtic A2 (2050), que implica un descens de la pluviometria i un ascens de la temperatura. La simulació no considera una actualització de la demanda futura; per a l'escenari simulat se suposa que el cabal dels pous d'extracció i de recàrrega es manté en el nivell històric, d'acord amb les dades procedents de l'inventari de l'ACA.

2.4.2.5. Resultats obtinguts

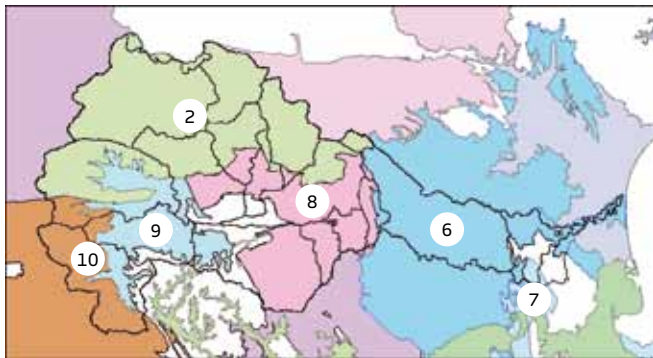
Els resultats de la recàrrega subterrània a les conques del Fluvià, Tordera i Siurana, tant per al període històric com per als escenaris futurs, correspon a les unitats definides segons la caracterització de les masses d'aigua subterrània realitzada per l'Agència Catalana de l'Aigua, d'acord als requeriments establerts en l'article 5 i Annex 2 de la directiva marc de l'aigua (Directiva Marc de l'Aigua a Catalunya, ACA, octubre 2005). A més, per a realitzar el càlcul de la recàrrega per precipitació o tornada de reg, si escau, com ja es va esmentar anteriorment, s'ha tingut en compte l'existència en les masses d'aigua

subterrània de zones constituïdes per materials de molt baixa permeabilitat amb una infiltració molt reduïda, segons les dades proporcionades per la cartografia d'unitats hidrogeològiques.

Amb l'objecte d'avaluar la importància de la distribució de l'ús del sòl sobre la recàrrega de les masses d'aigua subterrànies, en cada conca estudiada s'han seleccionat tres subconques caracteritzades per diferent distribució d'usos del sòl a més d'estar perfectament caracteritzades des del punt de vista hidrològic. Aquest apartat constitueix un intent d'aproximació a l'anàlisi de sensibilitat d'aquest paràmetre sobre la recàrrega.

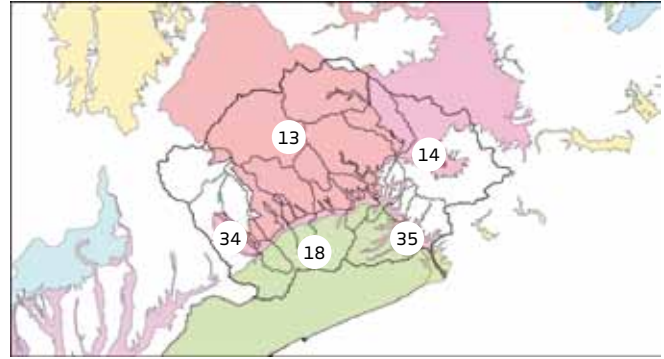
Les masses d'aigua subterrània caracteritzades d'acord a tipologia, grau d'explotació i característiques hidràuliques i localitzades en les conques hidrogràfiques analitzades es descriuen en la Figura 54 i Annex 3. En funció de la seva litologia es distingeixen les següents tipologies: Al·luvials; Detrítiques d'origen no al·luvial; Carbonatades; Masses en granits i materials del paleozoic; Agrupació d'aqüífers locals en medis de baixa permeabilitat; Masses en materials volcànics i fluviovolcànics. Des del punt de vista hidrogeològic poden estar constituïdes per aqüífers lliures o confinats.

Les masses d'aigua subterrània que afloren totalment o parcialment en les conques hidrogràfiques analitzades l'aflorament de les quals es mostra en les figures 7 a 9 són:



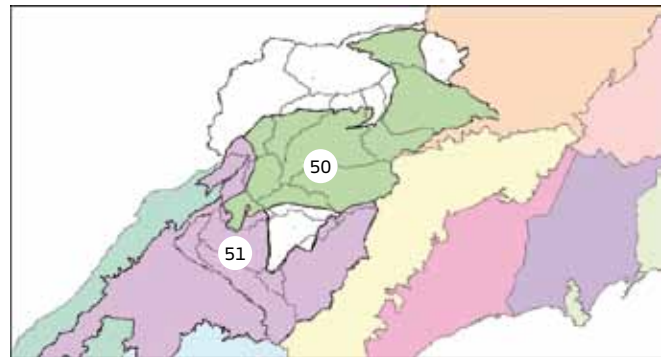
2 Conca Alta del Fluvià	8 Banyoles
6 Empordà	9 Fluviovolcànic de la Garrotxa
7 Paleògens del Baix Ter	10 Plana de Vic-Collsabra

Figura 60. Conca del riu Fluvià: subconques superficials i divisòries d'aigües (línies negres) i masses d'aigua subterrània. Les masses d'aigua, estan diferenciades per color. L'índex correspon a la massa d'aigua subterrània descrita anteriorment.



13 Montseny-Guillerries	34 Al·luvials de l'alta i mitjà Tordera Al·luvial
14 La Selva	35 Al·luvials de la baixa Tordera i Delta Al·luvial
18 Maresme	

Figura 61. Conca del riu Tordera: subconques superficials i divisòries d'aigües (línies negres) i masses d'aigua subterrània. Les masses d'aigua, estan diferenciades per color. L'índex correspon a la massa d'aigua subterrània descrita anteriorment.



50 Priorat
51 Fossa de Mora

Figura 62. Conca del riu Siurana: subconques superficials i divisòries d'aigües (línies negres) i masses d'aigua subterrània. Les masses d'aigua, estan diferenciades per color. L'índex correspon a la massa d'aigua subterrània descrita anteriorment.

En aquest apartat es presenten els resultats corresponents a la recàrrega en les conques estudiades i per als diferents sistemes aqüífers definits anteriorment. S'ha de destacar que en tots els gràfics presentats el valor de P (hm^3/any), corresponent a l'entrada hídrica al sistema per al període avaluat, inclou el volum aportat per la pluja més la dosi de regadiu total. Pel que fa als valors de precipitació i període considerat, aquests apareixen reflectits en l'apartat corresponent d'aquesta memòria.

Al **Fluvià**, els resultats del balanç en el sòl, així com la resta dels paràmetres hidrològics considerats, corresponents al període històric i per a tota la conca del riu Fluvià es mostren en

la Figura 63. Les subconques seleccionades d'acord a la seva distribució espacial de boscos, improductiu i agrícola han estat la Vall d'en Bas, Maià de Montcal i Baix Fluvià. El valor mig de la recàrrega a la conca per a tot el període considerat ascendeix a 273 hm³/any, que representa un 27% aproximadament, sobre un total de 1007 hm³/any corresponent a precipitació (i reg). Pel que fa a la distribució anual de la recàrrega, si bé la majoria dels valors se situen al voltant de la mitjana històrica, s'observa una lleugera reducció a partir de l'any 2003, reflectint un petit descens de la precipitació en la conca, fet també reflectit en les sèries pluviomètriques de la zona.

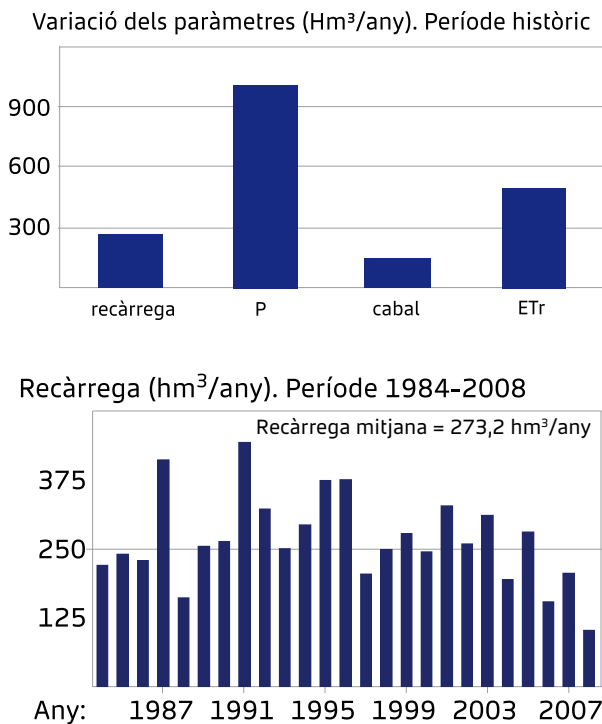


Figura 63. Esquerra: Resultats del balanç en el sòl i valors dels paràmetres del cicle hidrològic en la conca per a tot el període històric. Dreta: Valors de la recàrrega anual. (P: precipitació + reg; ETR: evapotranspiració real; cabal: cabal en el riu).

En relació amb les subconques analitzades, com es pot observar en la Figura 64, la major contribució a la recàrrega subterrània es produeix en Maià de Montcal on l'ús del sòl correspon majoritàriament a coberta forestal (82%). En la subconca del Baix Fluvià es pot deduir que una contribució important de la recàrrega ha de correspondre a regadiu, donada la presència d'un 20% d'usos del sòl per a l'agricultura.

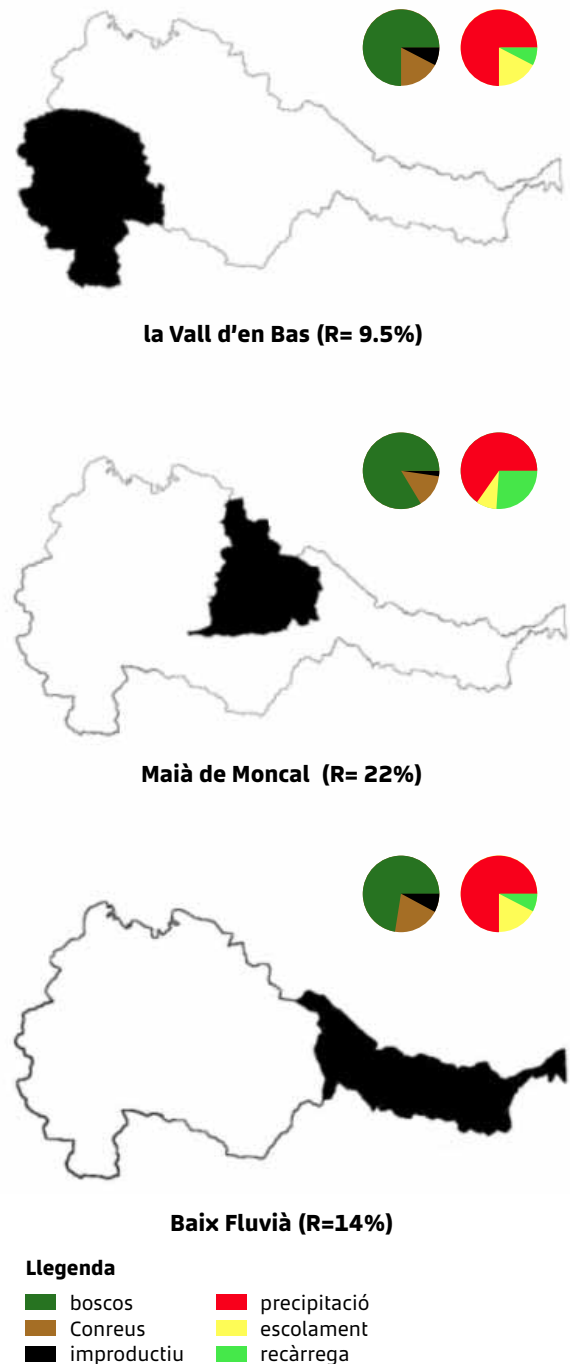


Figura 64. Estimació de la recàrrega en tres conques representatives (R= recàrrega).

Els resultats corresponents a la conca de la **Tordera** en la seva totalitat es recullen en la Figura 65. Les conques seleccionades han estat Baixa Tordera, Alta Tordera i Arbúcies amb una elevada ocupació del sòl per boscos en la zona d'Arbúcies (de l'ordre del 91%) i de zones conreades (un 26%) a l'Alta Tordera. S'observa una recàrrega mitjana anual de 38 hm³ aproximadament, fet degut al fet que una gran part de la conca està composta per materials impermeables (fonamentalment roques granítiques) que impedeixen una recàrrega profunda, la recàrrega és majoritàriament de tipus hipodèrmic, presentant valors inferiors a la mitjana històrica a partir de l'any 2006. La importància de la recàrrega subterrània és més destacable en la zona de l'Alta Tordera possiblement per la contribució forestal i la presència de cultius agrícoles (26%).

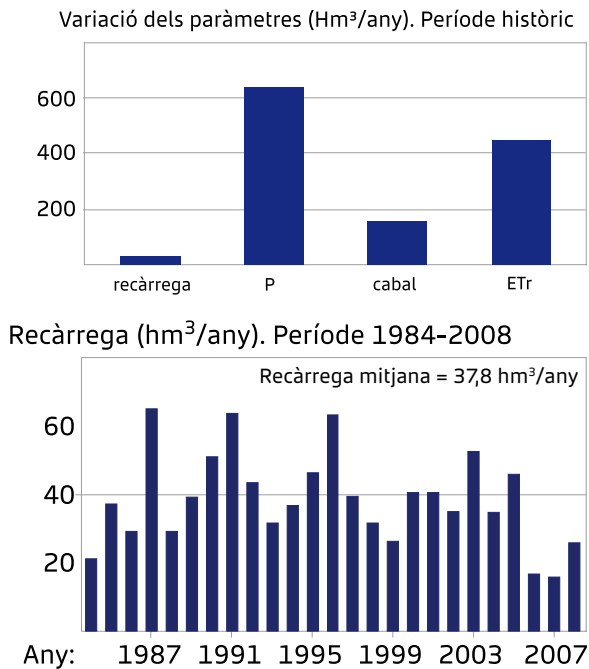


Figura 65. Esquerra: Resultats del balanç en el sòl i valors dels paràmetres del cicle hidrològic en la conca per a tot el període històric. Dreta: Valors de la recàrrega anual. (P: precipitació + reg, ETR: evapotranspiració real; cabal: cabal en el riu).

D'acord a la simulació del model per al sistema fluviodeltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera, els resultats obtinguts es mostren en la Figura 67. D'acord als resultats obtinguts el major percentatge de la recàrrega correspon a la infiltració pel riu. Pel que fa als altres paràmetres del balanç s'ha de destacar una petita disminució de l'emmagatzematge, però el valor del qual és molt proper al nivell d'incertesa i molt possiblement

l'aquífer presenta equilibri entre les entrades (recàrrega natural per la precipitació i riu, entrada d'aigua del mar i recàrrega per pous) i les sortides (sortides per riu, bombaments i mar).

Per a la conca del **Siurana**, els resultats obtinguts es mostren en les Figura 68 i Figura 69. S'ha de destacar que els resultats obtinguts per a aquesta

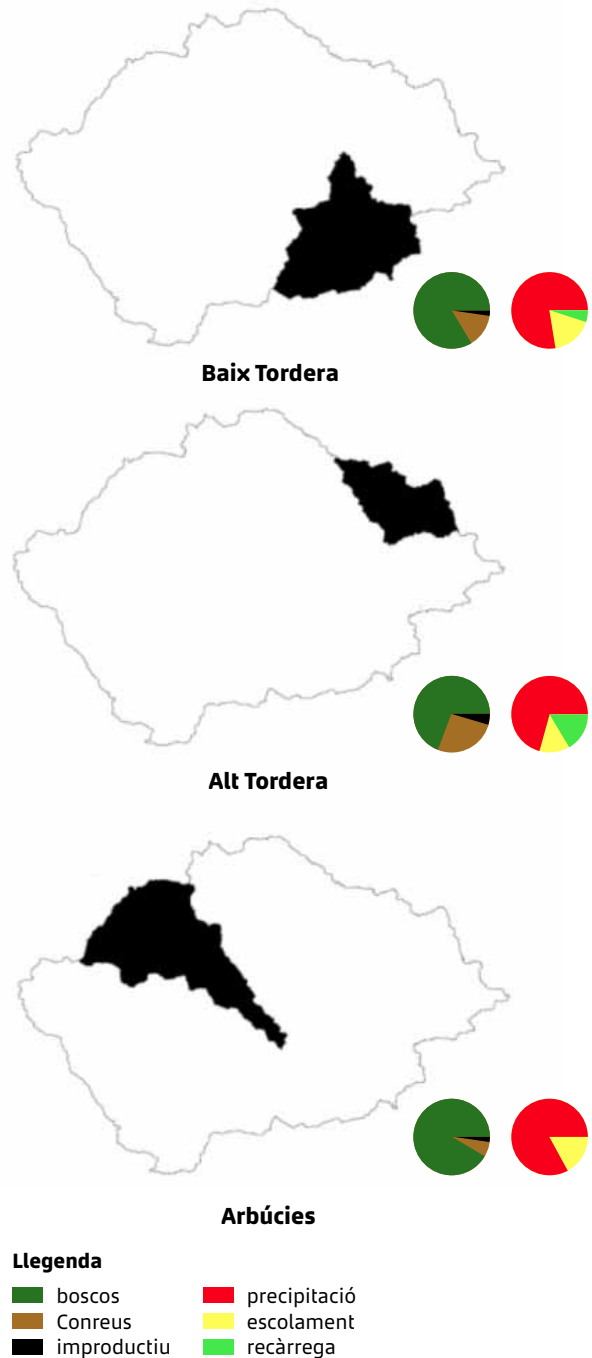


Figura 66. Estimació de la recàrrega en tres conques representatives (R= recàrrega hm³/any). La recàrrega oscil·la entre el 24% i l'1% en el cas extrem.

Aqüífer Tordera, històric

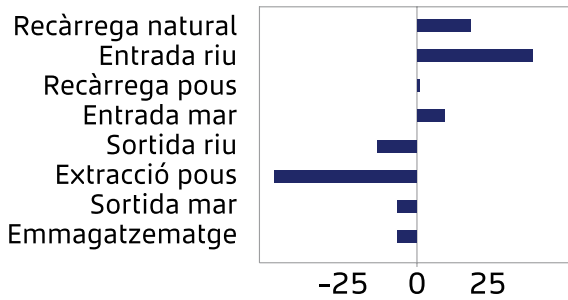
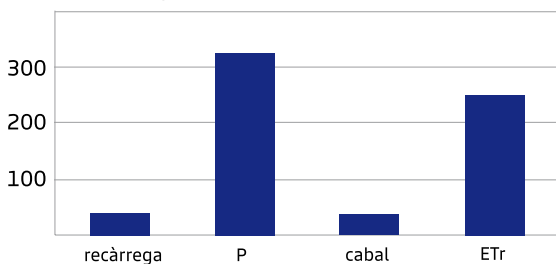


Figura 67. Balanç en el sistema fluviodeltaic de la Tordera (període històric).

conca són els que presenten major incertesa a causa de l'escassetat de dades (tant a nivell espacial com temporal), l'alta variabilitat de la precipitació de la sèrie històrica disponible (existeixen un episodi extrem de 294 mm) i el fet de disposar d'una estació d'aforaments no massa adequada per a valorar l'escolament superficial, especialment considerant que la calibració del model de recàrrega s'ha realitzat a partir de les dades d'aforament. Com es comenta en l'apartat corresponent a hidrologia superficial aquesta conca s'ha avaluat com a no aforada. Les conques seleccionades han estat Cabacés, Mig Siurana i Tivissa, presentant una distribució d'usos del sòl bastant similar. En aquestes conques la presència

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període històric



Recàrrega (hm³/any). Període 1984-2008

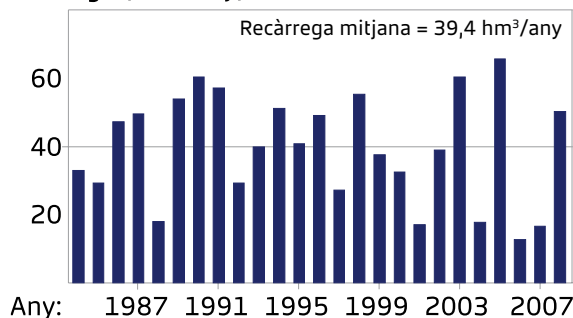


Figura 68. Esquerra: Resultats del balanç en el sòl i valors dels paràmetres del cicle hidrològic en la conca per a tot el període històric. Dreta: Valors de la recàrrega anual. (P: precipitació+ reg, ETr: evapotranspiració real; cabal: cabal en el riu).

d'agricultura oscil·la entre el 20 i el 27% de l'ús del sòl. La recàrrega mitjana anual al Siurana estimada és 39 mm, presentant valors anuals molt variables, tal i com es pot esperar per a una conca de pluviometria molt irregular i escassament instrumentada. En aquesta conca els recursos hídrics procedents de la recàrrega subterrània en relació a les aigües superficials té una gran importància, donada l'escassa precipitació.

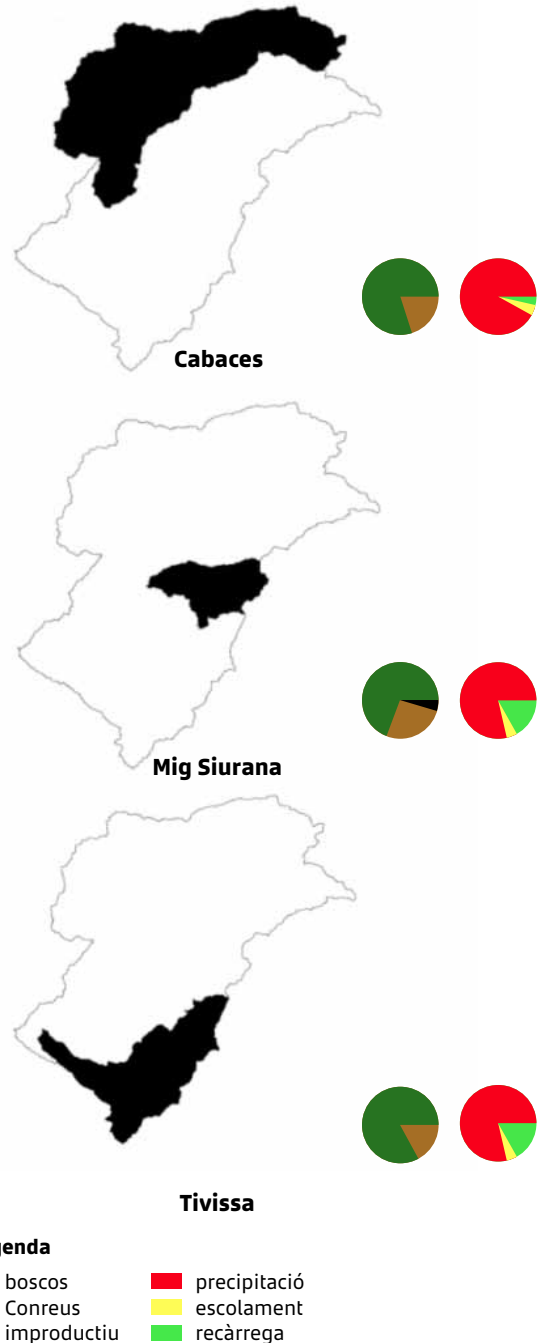


Figura 69. Estimació de la recàrrega en tres conques representatives. La recàrrega oscil·la entre el 20% (Tivissa) i el 14% (Mig Siurana).

2.5. Com són els boscos ?

Eduard Pla, Diana Pascual, Javier Retana, Jaume Terradas, Carles Gracia, Santi Sabaté. CREAM

2.5.1. Inventari de les masses forestals

A l'hora de descriure les característiques dels boscos presents a les conques d'estudi hem partit de la informació disponible per a Catalunya i recollida al 2n i 3r Inventaris Forestals Nacionals (IFN2 1986-1996 i IFN3 1997-2007) (enllaç: www.marm.es/ca/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional/)

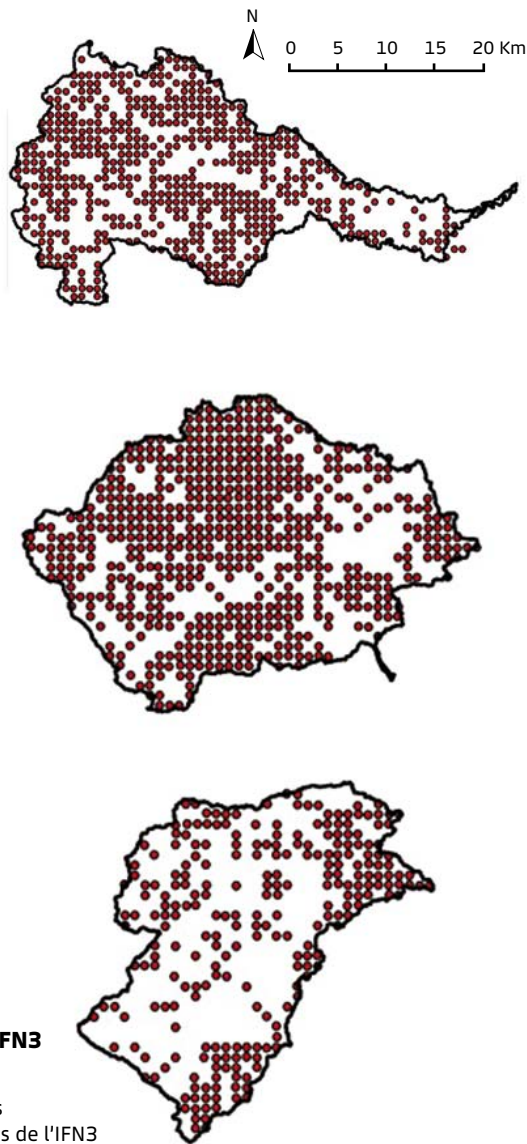


Figura 70. Parcel·les del 3r Inventari Forestal Nacional a les conques d'estudi

El mostreig en ambdós inventaris consisteix en una xarxa sistemàtica de parcel·les permanents situades sobre terreny forestal arbrat a raó d'aproximadament una parcel·la per cada 100 ha de superfície forestal arbrada. A l'IFN3, es van mesurar 11.278 parcel·les a Catalunya, 9.968 de les quals són parcel·les amb peus majors, és a dir, de diàmetre normal de més de 7,5 cm. Atès que les parcel·les de mostreig de l'IFN son permanents, resulta possible repetir les mesures en successius inventaris.

De les 11.278 parcel·les mesurades a l'IFN3, 8.726 havien estat mesurades a l'IFN2. La superfície forestal arbrada de base prové del Mapa de Cobertes del Sòl (1993). Les dades dels inventaris proporcionen una informació molt detallada de la composició i estructura dels boscos mostrejats. A les conques estudiades s'han analitzat les dades de les estacions coincidents a ambdós inventaris:

- el Fluvià: 577 estacions
- la Tordera: 550 estacions
- el Siurana: 214 estacions

A nivell de les superfícies ocupades per cada espècie d'arbre recollides al MCSC 2005, les espècies principals a cada conca són les següents:

% respecte sup. forestal		
FLUVIÀ	Alzinar (<i>Quercus ilex</i>)	34.9
	Roureda de roure martinenc (<i>Quercus humilis</i>)	18.9
	Pineda de pi blanc (<i>Pinus halepensis</i>)	14.3
	Fageda (<i>Fagus sylvatica</i>)	8.9
	Pineda de pi roig (<i>Pinus sylvestris</i>)	6.1
	Sureda (<i>Quercus suber</i>)	28.1
TORDERA	Alzinar (<i>Quercus ilex</i>)	16.8
	Pineda de pi Pinter (<i>Pinus pinea</i>)	10.6
	Fageda (<i>Fagus sylvatica</i>)	4.1
	Castanyeda (<i>Castanea sativa</i>)	3.6
SIURANA	Roureda de roure martinenc (<i>Quercus humilis</i>)	3.5
	Pineda de pi blanc (<i>Pinus halepensis</i>)	29.2
	Alzinar (<i>Quercus ilex</i>)	18.9
	Pineda de pinassa (<i>Pinus nigra</i>)	5.5

Taula 39. Percentatge de superfície de la conca ocupada per coberta de sòl. Únicament es mostren les cobertes majoritàries.

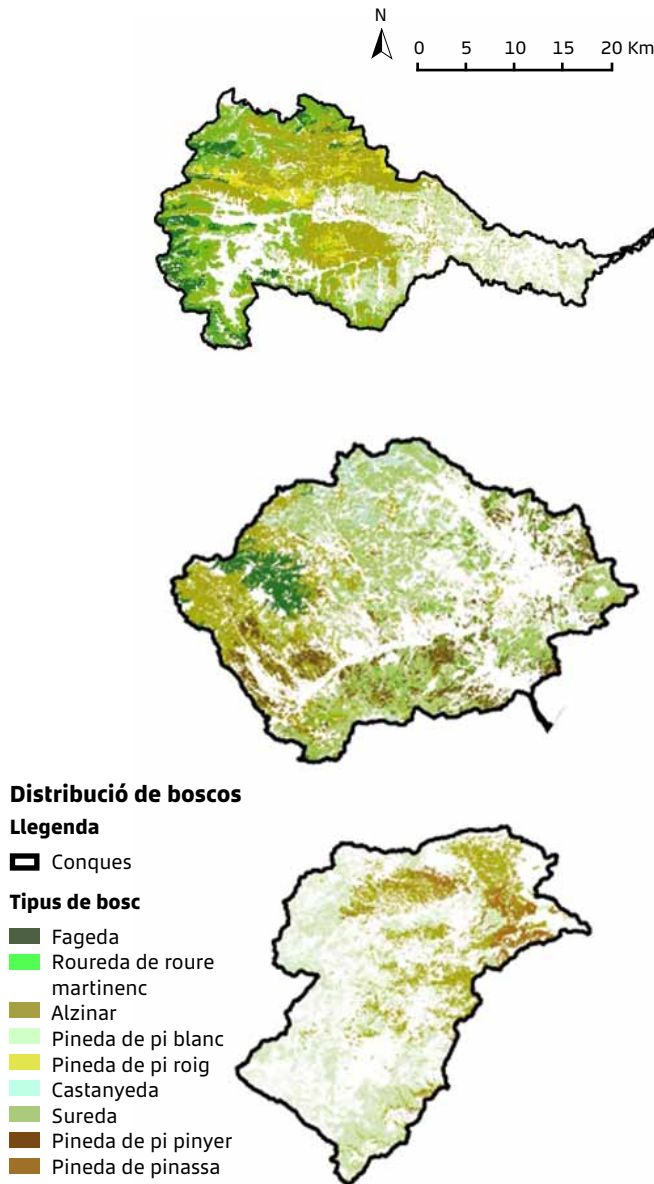


Figura 71. Distribució espacial arcel·les de l'Inventari Forestal Nacional 3 a les conques d'estudi

2.5.2. El paper dels boscos en el balanç hídric de la conca

El bosc té un paper molt important dins del cicle de l'aigua perquè li serveix de magatzem: una part important de l'aigua de pluja s'infiltra i s'acumula en aqüífers i en el primer horitzó del sòl, que en

molts casos, és ric en humus i reté molta aigua, que va alliberant a poc a poc.

Als ecosistemes forestals mediterranis l'aigua evapotranspirada pot arribar a ser d'entre el 70% i el 90% de l'aigua de pluja. Això és possible perquè en aquesta zona mediterrània l'evapotranspiració potencial és superior a l'aigua de pluja, i pot arribar al doble dels valors de pluja. L'evapotranspiració real és l'aigua que efectivament acaba passant a l'atmosfera, partint de la base de l'aigua disponible (que prové de la pluja en els ecosistemes forestals). L'aigua evapotranspirada ha estat retinguda a l'ecosistema, o bé mullant-ne les estructures (sobretot les capçades, però també la superfície del sòl) o bé emmagatzemada al sòl i a la vegetació. Aquestes quantitats depenen sobretot de les quantitats d'estructura susceptibles de ser mullades i de la naturalesa de l'estructura del sòl (granulometria, matèria orgànica i profunditat del sòl), però també del pendent.

L'aigua no retinguda s'escola en superfície i genera l'escolament superficial o a més fondària. Quan l'escolament és profund, l'aigua es pot drenar fins a escapar-se de l'abast de les arrels de la vegetació.

L'aigua transpirada prové de l'aigua emmagatzemada al sòl que pot ser explorat per les arrels, i també és important, atès que les arrels exploren un volum important del sòl.

Les mesures dels balanços d'aigua en conques forestades s'han utilitzat, entre d'altres, per avaluar la influència de la cobertura vegetal sobre la quantitat d'aigua que surt pel corrent natural (riera, torrent, etc.). La conca és una unitat geogràfica que correspon a una definició hidrològica: l'aigua precipitada dins dels límits d'una conca ha de seguir una d'aquestes vies: 1) evapotranspiració, 2) escolament superficial, 3) drenatge subterrani, i/o 4) acumulació en un compartiment d'emmagatzematge (neu, sòl o aqüífer).

Quan la pèrdua d'aigua en profunditat és negligible, quan la litologia té característiques que la fan impermeable, l'aigua que entra a la conca ha de sortir o bé per la riera o bé és evapotranspirada. De manera que si es controlen les sortides amb

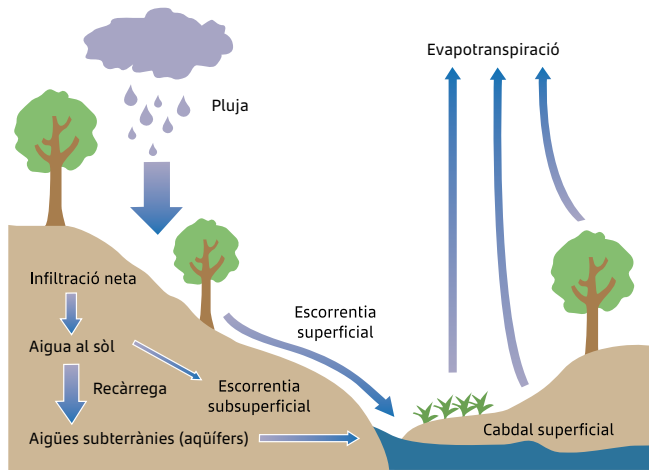


Figura 72. Esquema del balanç hídric a un ecosistema natural

2.5.3. Idoneïtat climàtica de les principals espècies forestals

El model BIOCLIM implementa l'Algoritme d'Envolupant Bioclimàtica (Nix 1986). Per a unes variables ambientals donades l'algoritme troba la mitjana i desviació estàndard (suposant una distribució normal) associades als punts de presència d'una espècie en el territori. Cada variable té la seva pròpia envolupant representada per l'interval definit per la mitjana, la desviació estàndard i un punt de tall de la distribució establert. A més de l'envolupant, cada variable ambiental té uns límits superior i inferior presos dels valors màxim i mínim relacionats amb el conjunt de punts de presència de l'espècie.

mesures del cabal a la sortida de la conca, també es té una bona estimació de l'aigua evapotranspirada.

En aquest model, qualsevol punt es pot classificar com:

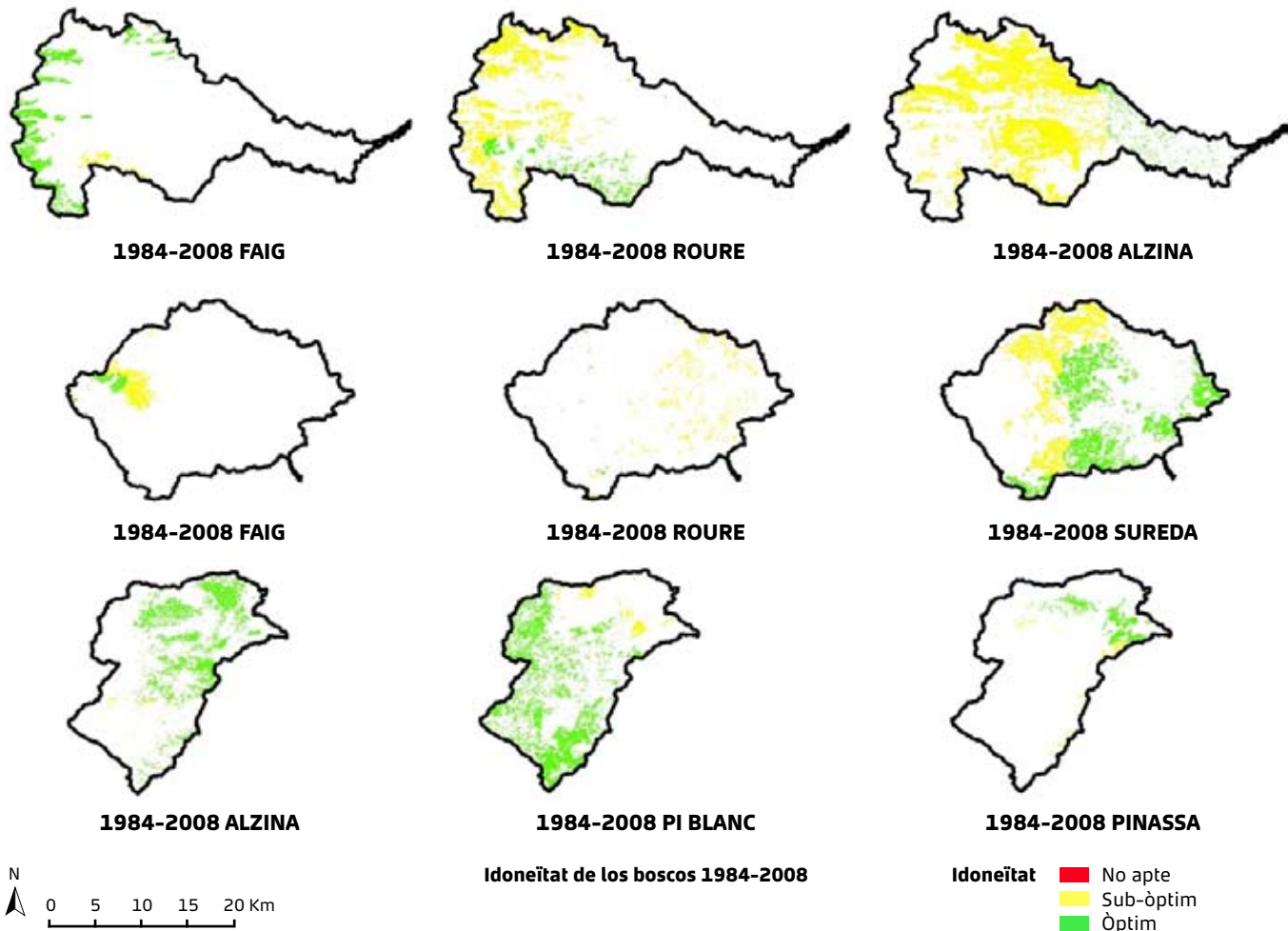


Figura 73. Mapes de distribució d'idoneïtat per les principals espècies de la conca pel període 1984-2008.

- *Òptim/Adient*: si tots els valors ambientals associats entren en les envolupants definides.
- *Subòptim/Marginal*: si un o més valor ambiental associat cau fora de la envolupant calculada, però encara dins dels límits superior i inferior.
- *No apte/Inadequat* si un o més valor ambiental associat queda fora dels límits superior i inferior.

Per al projecte ACCUA s'ha avaluat la idoneïtat actual i futura de les espècies forestals principals de les conques estudiades (Taula 39). Per fer-ho, s'han pres la dades provinents de l'IFN3 referents a la presència d'aquestes espècies a Espanya. Pel que fa a les variables ambientals analitzades s'ha seguit el criteri recollit a l'Atlas de les espècies llenyoses dels boscos de Catalunya (Lloret et al. 2009) d'adoptar la precipitació mitjana anual i la temperatura mitjana del mes més fred (en aquest cas, febrer).

2.5.4. Funcionament actual dels boscos

El model funcional de creixement forestal GOTILWA+ (acrònim de *Growth of Trees is Limited by Water* (www.creaf.uab.cat/gotilwa+)) va ser desenvolupat, inicialment, per a boscos mediterranis però ha esdevingut una eina generalista que ha estat aplicada amb èxit a comunitats forestals mediterrànies, temperades centreeuropees i boreals. GOTILWA+ simula el creixement del bosc, considerant la dinàmica de l'aigua en el sistema com a factor determinant i principal en el funcionament de les comunitats forestals. L'aigua és, per a bona part dels ecosistemes mediterranis, el principal factor limitant per al creixement de la vegetació (Piñol *et al.* 1991, Rambal 1993, Rodà *et al.* 1999). GOTILWA+ descriu el processos de producció, assignació del carboni i respiració i explora com aquests processos són condicionats pel clima, l'estructura del bosc i del rodal, els diferents règims de gestió forestal, les propietats del sòl i el canvi climàtic (figura 1). Així, el model esdevé molt útil com a eina per a l'avaluació de les respostes de diferents variables forestals (producció, flux i emmagatzematge de carboni) als paràmetres d'entrada del model.

A GOTILWA+ els processos simulats es donen a nivell d'individu. La distribució en classes diamètriques i la densitat poblacional (individus

ha⁻¹) són emprades en la definició de l'estructura poblacional. Els boscos són monoespecífics i no s'hi contempla la interacció de diferents espècies vegetals creixent alhora. Els arbres que formen part d'una mateixa classe diamètrica se'ls suposa idèntics i, per tant, no es recull la distribució espacial dels individus.

En una simulació estàndard, les dades climàtiques són analitzades diàriament. A partir de la interacció entre la precipitació diària i l'estructura de capçades, el model calcula la intercepció, el trascol i l'escolament cortical. La precipitació efectiva (la diferència entre la precipitació incident i la intercepció) fa augmentar l'aigua disponible en el sòl la qual s'utilitza pels arbres. La proporció d'albeca i duramen, l'àrea foliar de cada arbre i, consegüentment, l'Índex d'Àrea Foliar (LAI) del bosc són altament dependents en el model, encara que no exclusivament, de la disponibilitat d'aigua.

L'evapotranspiració és funció de la disponibilitat d'aigua i la temperatura. La disponibilitat d'aigua és un factor limitant del creixement i la producció. A mesura que el sòl s'asseca hi ha una reducció de l'aigua absorbida pels arbres: la conductància estomàtica disminueix i hi ha un decreixement en la fotosíntesi i en la transpiració.

La fixació de carboni per part dels arbres es calcula a partir del model de fotosíntesi de Farquhar (Farquhar i von Caemmerer 1982). El conjunt de carboni fixat (Producció Primària Bruta, GPP) permet un increment, primerament, de les reserves de carboni mòbil de la planta. Una fracció d'aquest carboni compensa la respiració de manteniment, mentre que la resta, si és el cas, constitueix la fracció de la producció assignada al creixement.

Amb la formació de nova biomassa hi ha associat un cost metabòlic: la respiració de creixement. L'assignació de la producció neta a GOTILWA+ es troba regulada per la teoria del *pipe model* (Shinozaki 1972), que estableix una relació constant entre l'àrea foliar i l'àrea de secció conductora d'albeca. El balanç entre la producció primària assignada al creixement, la respiració de manteniment i la respiració de creixement dona lloc a la producció primària neta (NPP) que determina, al seu torn, els processos de formació i abscisió de

fulles, la formació d'anells de creixement, la taxa de pas d'albeca a duramen i, en conseqüència, els canvis funcionals i estructurals dins de cada classe diamètrica. Aquests canvis afecten, alhora, els fluxos hidrològics que es donaran i que afecten, novament, tots els processos abans descrits (Figura 75).

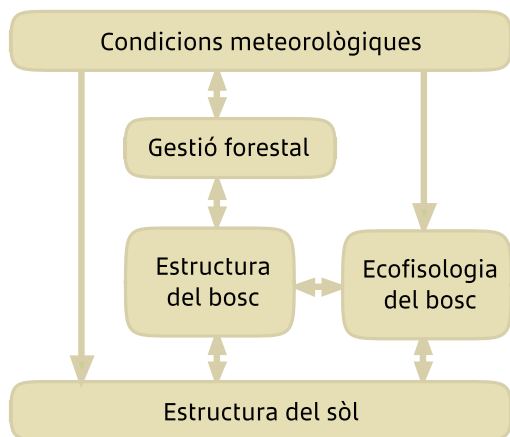


Figura 74. Compartiments principals i les seves relacions que incorpora el model GOTILWA+.

GOTILWA+ ha estat validat satisfactòriament contrastant les simulacions amb mesures reals d'experiments en diferents projectes europeus on s'ha testat, amb resultats positius, el seu nivell de precisió, la capacitat d'aplicació generalista i el seu nivell de realisme en relació amb el processos de base simulats (Kramer i Mohren 2001, Sabaté *et al.* 2002, Kramer *et al.* 2002, Morales *et al.* 2005).

Dades d'entrada

El model GOTILWA+ requereix d'un seguit de paràmetres d'entrada bàsics de diferent naturalesa: aquells que fan referència a l'estructura i ecofisiologia de la vegetació, aquells descriptors de les condicions ambientals (dades climatològiques i topogràfiques) i, finalment, aquells relacionats amb els fluxos d'aigua i carboni al sòl. Optativament, el model pot incorporar informació relativa a diferents règims de gestió silvícola.

Les dades de l'estructura inicial del bosc provenen d'informació d'inventari previ: el nombre d'individus per hectàrea i la seva distribució en classes diamètriques. Els paràmetres funcionals (relacionats amb les respostes ecofisiològiques de la

coberta) inclouen informació referent a la fotosíntesi i a la conductància estomàtica. Per a cada espècie aquests paràmetres són derivats, indistintament, de la bibliografia o de mesures de camp.

La informació referent al sòl comprèn els paràmetres relacionats amb les funcions que descriuen els fluxos hidrològics i els fluxos de carboni. El sòl es divideix en el model en dos estrats: la capa orgànica i la mineral amb una taxa de transferència entre ambdues. Hidrològicament, però, el sòl representa un compartiment únic amb unes propietats homogènies que determinen l'aigua emmagatzemada en el sòl (Taula 40).

Les dades climàtiques comprenen els valors diaris de temperatures màximes i mínimes de l'aire (°C), precipitació (mm dia⁻¹), radiació solar (MJ dia⁻¹), velocitat mitjana del vent (m s⁻¹) i el dèficit de pressió de vapor mesurat a l'alba (kPa). Aquestes dues darreres variables el model és capaç d'estimar-les o calcular-les si no estan disponibles o bé són incompletes. El model també incorpora dades anuals referents a la concentració de CO₂ atmosfèric.

Paràmetre	Símbol	Unitats
FLUXOS DE CARBONI AL SÒL		
C orgànic al sòl en horitzons orgànics		g cm ⁻²
C orgànic al sòl en horitzons minerals		% de pes sec
Densitat aparent		g cm ⁻³
Taxa de descomposició de MO als horitzons orgànics	k(LF)	dia ⁻¹
Taxa de descomposició de MO als horitzons minerals	k(AB)	dia ⁻¹
Factor de l'efecte de la temperatura del sòl	Q ₁₀	-
Taxa de transferència dels horitz. orgànics als minerals	t _{o m}	dia ⁻¹
Descriptors de l'efecte de l'aigua al sòl sobre la descomposició de la MO	W _{min}	mm
	W _{max}	mm
CONDUCTIVITAT HIDRÀULICA DEL SÒL		
Gradient hidràulic	wg	m/m
Conductivitat hidràulica del sòl	wc	m dia ⁻¹
Fondària mitjana del sòl	sd	m
Aigua mínima utilitzable	uw _{min}	mm m ⁻¹
Volum de pedres	sv	%
Taxa de drenatge	dr	dia ⁻¹

Taula 40. Components de la conductivitat hidràulica del sòl i de la dinàmica del carboni al sòl.

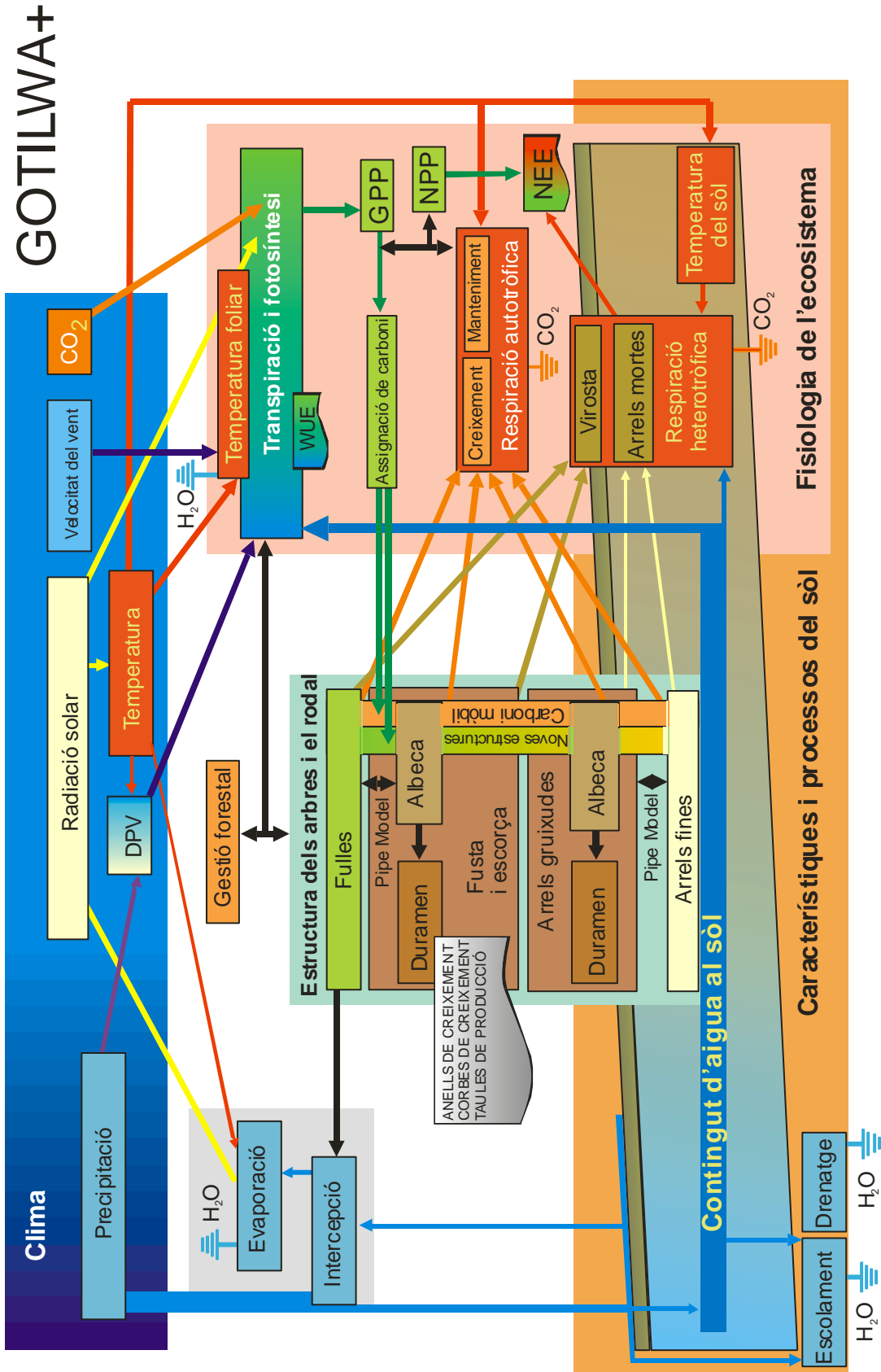


Figura 75. Esquema general del model forestal GOTILWA+. S'hi mostren els processos principals i les seves interrelacions

Variables	Símbol	Unitats
Radiació solar	Q	MJ m ⁻² dia ⁻¹
Temperatura màxima diària	Max T	°C
Temperatura mínima diària	Min T	°C
Precipitació	P	mm dia ⁻¹
Velocitat mitjana del vent	WS	m s ⁻¹
Concentració atmosfèrica de CO ₂	CO ₂	ppm
Dèficit de pressió de vapor a l'alba	VPD	kPa

Taula 4.1. Variables climàtiques

Variables de sortida

Les sortides del model estan directament relacionades amb la seva aplicació. El model permet mostrar els resultats a diferents escales temporals: diària, mensual i anual. Especialment rellevants són les variables descriptives de l'evolució de l'estructura de la vegetació al llarg dels anys simulats. El model també permet comparar i relacionar la informació estructural amb l'ambiental a partir d'un seguit de variables de control. Formen part d'aquest apartat les variables de tipus climatològic i hidrològic. Finalment, hi ha una tercera categoria de variables de sortida que fan referència als processos ecofisiològics de base, relacionats amb la fotosíntesi i la producció.

Processos funcionals simulats implicats en el flux d'aigua al sòl

El clima determina tots els mecanismes fisiològics de la vegetació i condiciona els processos del sòl. El model utilitza dades diàries.

La fotosíntesi i altres processos fisiològics són simulats horàriament, per tant, el model estima, a partir dels valors diaris d'entrada, les dades horàries de radiació, temperatura de l'aire, precipitació i evapotranspiració. La generació d'aquests valors horaris es duu terme a partir d'un mòdul climatològic desenvolupat per a GOTILWA+ (Gracia et al. 1999b) que inclou les equacions de correcció de la radiació incident per a una hora i una latitud donades, l'equació empírica sinusoidal d'ajustament de la temperatura en funció de l'hora d'insolació, la distribució aleatòria de la quantitat de pluja diària en hores, el càlcul del dèficit de pressió de vapor horari (VPD) que, juntament amb

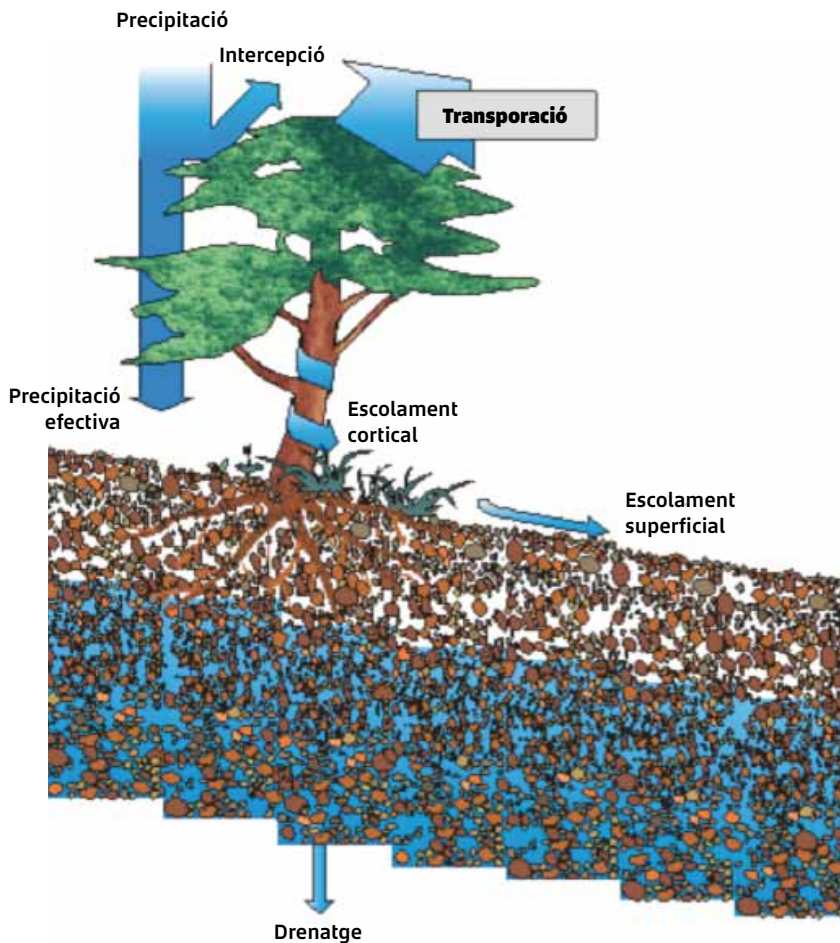
el valor de la radiació incident, permet el càlcul de l'evapotranspiració segons l'equació de Penman i Monteith (Monteith 1965) acoblada a l'atmosfera (Jarvis i Mcnaughton 1986). Cal precisar que en aquest càlcul de l'evapotranspiració no es contempla la influència del vent.

Processos hidrològics i humitat al sòl

L'estructura de la coberta determina els fluxos d'aigua en el sistema, quina quantitat de precipitació és interceptada, i d'aquí evaporada, i quanta arriba al sòl (precipitació efectiva). La intercepció s'estima, per a cada episodi de pluja, a partir de l'índex d'àrea foliar (LAI), les característiques de la capçada de cada espècie i la intensitat de la pluja. L'escolament superficial s'estima a partir de la precipitació i la capacitat de saturació (Water Filled Porosity WFP), que mesura com de saturat es troba el sòl. A la Figura 3 s'hi mostra un diagrama dels principals processos hidrològics a nivell de coberta que incorpora el model.

La precipitació efectiva és aquella que arriba finalment al sòl. El contingut d'aigua al sòl és una mesura de la quantitat d'aigua emmagatzemada al sòl en un moment determinat. Pot ser expressada com a contingut màssic (W, kg aigua/kg sòl) o volumètric (q, m³ aigua/m³ sòl). Per a estimar el contingut d'humitat al sòl, el model empra un seguit de característiques edàfiques: la densitat de partícules del sòl (D_p, Pessòlids/Volumsòlids), que se suposa força constant per a la majoria de sòls minerals (2650 kg m⁻³) (Porta et al. 1993) i que es corregeix en funció de la matèria orgànica present; la densitat aparent del sòl sec (D_b, Pes secsòl/Volumsòl (porus+sòlids)), que es calcula a partir de l'aproximació de Honeysett i Ratkowsky (1989); la porositat (P) que s'estima a partir dels valors de la densitat de partícules i la densitat aparent; la capacitat de saturació (Water-Filled Porosity, WFP); i la capacitat retenció d'aigua disponible (Water-Holding Capacity, WHC) que expressen, de diferents maneres, la disponibilitat d'aigua útil per als arbres (Porta et al. 1993).

A partir d'aquí, es calcula la humitat del sòl (M) com a percentatge de la capacitat de saturació (WFP).



AIGUA AL SÒL

Figura 76. Esquema dels principals fluxos d'aigua incorporats a GOTILWA+.

Quan tots els porus són ocupats per aigua (WFP), el sòl assoleix el seu punt de saturació. Una part de l'aigua que ocupa els porus és drenada per gravetat els dies que segueixen els episodis de pluja que saturen el sòl. El drenatge s'atura quan s'arriba a la capacitat de camp (FC), és a dir, la quantitat d'aigua que pot ser retinguda per les partícules del sòl. L'aigua drenable present al sòl, W_s , és la quantitat d'aigua que sobrepassa el valor de capacitat de camp.

L'excés d'aigua que pugui arribar al sòl, quan aquest està saturat, es perd per escolament superficial. Podeu trobar les equacions utilitzades al model a l'Annex 6.

L'aigua drenada en els dies successius a la saturació del sòl segueix una funció exponencial negativa, de taxa k (taxa de drenatge). K representa la fracció del d'aigua drenable ($W_s - FC$) que es drena cada dia.

De cara a la simplificació de la parametrització inicial de les simulacions, s'han assumit tres

tipus funcionals principals (coníferes, planifolis perennifolis i caducifolis). Cada espècie s'ha assignat a un dels tres tipus.

Cada categoria d'altitud de cada subconca s'ha considerat una unitat de simulació. En cadascuna d'elles s'hi han simulat els tipus funcionals principals segons les dades de les estacions de l'IFN3 presents. Un cop fetes les simulacions, els resultats s'han ponderat pel percentatge de recobriment de cadascuna de les espècies.

GOTILWA+ ha simulat cadascuna de les unitats i cadascun dels tipus funcionals de forma separada, tot i la posterior agregació de les dades d'escolament superficial a nivell de subconca i conca total.

Tot i tractar-se d'una conca eminentment forestada, s'han simulat dues categories del sòl, a més del bosc, i s'ha ponderat la seva contribució a la hidrologia de la conca en funció de l'àrea que representen. D'una banda, s'ha simulat una

categoria que inclou els matollars, els prats i els conreus (26,32 % de la superfície de la conca) amb un comportament de coberta vegetal esclarissada però amb sòl. D'altra banda, s'ha simulat el comportament de la categoria sòl nu que compren els roquissars, tarteres i sòl urbà 5,80 %) i que, a nivell hidrològic, s'ha tractat com sòl impermeable, és a dir, s'hi escola tot allò que hi precipita.

2.5.4.1. Simulacions de GOTILWA+ per al període referència

Parametrització inicial dels processos ecofisiològics

La major part dels valors dels paràmetres funcionals i ecofisiològics s'han obtingut o derivat de treballs previs on s'han simulat els tipus funcionals de

referència (Taula 42). Podeu consultar aquests valors de referència per aquestes i altres espècies, així com el seu significat biològic, a www.creaf.uab.cat/gotilwa+

Clima

Aquesta prova s'ha realitzat a partir de les sèries generades per a les subconques definides per al seu ús al model hidrològic SWAT (vegeu capítol 2.4), sèries de dades observades a les estacions meteorològiques pel període 1984-2008, reomplertes i corregides altitudinalment pel mòdul de clima de l'esmentat model.

Sòl

Les dades de sòl, la seva caracterització hidrològica, que s'han utilitzat a aquesta prova provenien del mapa de sòls elaborat per l'ETC/

Paràmetres	Símbol	Unitats	Planifolis perennifolis	Caducifolis	Coníferes
FOTOSÍNTESI FOLIAR					
Taxa màxima de carboxilació a 25°C	V _c max	μmols m ⁻² s ⁻¹	62	94.5	98
Energia d'activació de V _c max	E _a	J mol ⁻¹	75330	82300	75330
Pressió parcial intercel·lular de CO ₂	C	ppmv	222500	218000	222500
Taxa màxima d'oxigenació a 25°C	V _o max	μmols m ⁻² s ⁻¹	13.02	19.845	20.58
Energia d'activació de V _o max	E _a	J mol ⁻¹	75330	82300	75330
Pressió parcial intercel·lular d'O ₂	C	ppmv	222500	218000	222500
Taxa potencial de transport electrònic a 25°C	J max	μmols m ⁻² s ⁻¹	115	159.86	150
Energia d'activació de J max	E _a	J mol ⁻¹	57000	45000	57000
Paràmetre de curvatura de J max	E _d	J mol ⁻¹	220000	219000	220000
Paràmetre de la temp. de resposta de transport electrònic	S	J mol ⁻¹ K ⁻¹	710	710	710
Curvatura de resposta del transport electrònic a la irradiància	ψ	An/PPFD	0.7	0.7	0.7
Constant de Michaelis-Menten de Rubisco pel CO ₂ a 25°C	K _c	Pa	404	404	404
Energia d'activació de K _c max	E _a	J mol ⁻¹	84200	89356	84200
Constant de Michaelis-Menten de Rubisco per l'O ₂ a 25°C	K _o	Pa	248000	33000	24800
Energia d'activació de K _o max	E _a	J mol ⁻¹	15200	16000	15200
Taxa de respiració fosca a 25°C	R _d	μmols m ⁻² s ⁻¹	0.63	1.2	0.975
Factor de l'efecte temperatura a 25°C	Q ₁₀	--	2	2	2
CONDUCTÀNCIA ESTOMÀTICA					
Conductància residual (cuticular)		μmols m ⁻² s ⁻¹	0.01	0.01	0.01
Constant de Leuning	g _l	--	6	10.5	10.5
Factor de resposta de g _s vers VPD	g _s DO	kPa	1.5	1.5	1.5
Contingut d'aigua al sòl al qual g _s =0	S _{gso}	m ³ m ⁻³	5	5	5
Contingut d'aigua al sòl al qual g _s =g _s max	S _{gsmax}	m ³ m ⁻³	65	75	45
Dimensió característica foliar	D	m	0.04	0.05	0.002
Paràmetre X (distribució el·lipsoidal)	X	v h ⁻¹	1.46	1.19	0.37
Fulles segons distribució dels estomes			Hipoestomàtica	Hipoestomàtica	Amfistomàtica

Taula 42. Paràmetres de fotosíntesi foliar i conductància estomàtica utilitzats en la parametrització dels tipus funcionals utilitzats a les simulacions.

SIA per al seu ús a SWAT segons la metodologia descrita a l'apartat 2.3.2.

Estructura dels boscos simulats a la prova

GOTILWA+ ha simulat el comportament dels boscos descrits per cada estació de l'inventari forestal. En aquesta prova en què se simulaven les condicions actuals s'han pres les dades de referència de les estacions de l'IFN2 (1986-1996, vegeu apartat 2.5.1). En funció de l'espècie dominant a cada estació, se li assignava la parametrització corresponent al seu grup funcional (Taula 42).

Intercomparació de resultats entre models

Davant de les dificultats de validar GOTILWA+ amb dades instrumentals, s'ha fet un exercici d'intercomparació entre els resultats de GOTILWA+ i de SWAT per l'evapotranspiració real dels boscos. Es dona el cas que SWAT contempla el càlcul, de manera més simplificada que GOTILWA+ de l'evapotranspiració real de diferents tipus de cobertes a partir del mètode de Penman-Monteith (el mateix que utilitza GOTILWA+).

L'exercici s'ha revelat satisfactori, amb un elevat grau de convergència entre els resultats aportats pels dos models, amb uns coeficients de correlació entre els resultats dels dos models per al període de

referència de 0,89 pel Fluvià, 0,97 per la Tordera i 0,9 pel Siurana.

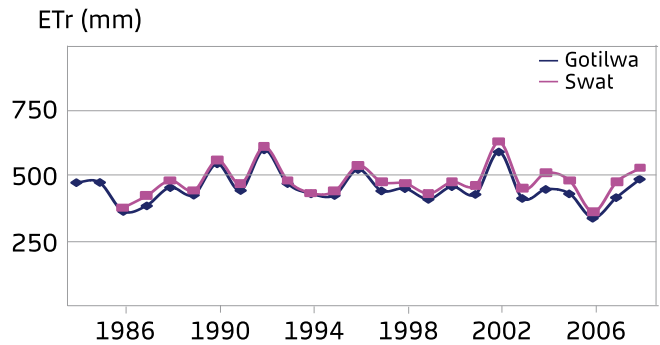


Figura 77. Resultats de l'exercici d'intercomparació entre GOTILWA+ i SWAT per a la variable evapotranspiració real (mm) per al període 1984-2008 a la Tordera

Resultats de les simulacions

Un cop parametritzat el model, s'ha dut a terme un exercici de simulació com a pas previ a l'aplicació del model per a l'exploració dels efectes del canvi climàtic.

Les simulacions s'han dut a terme utilitzant la sèrie de dades climàtiques abans descrita i les condicions inicials que s'han anat exposant en els apartats anteriors i per al període 1984-2008.

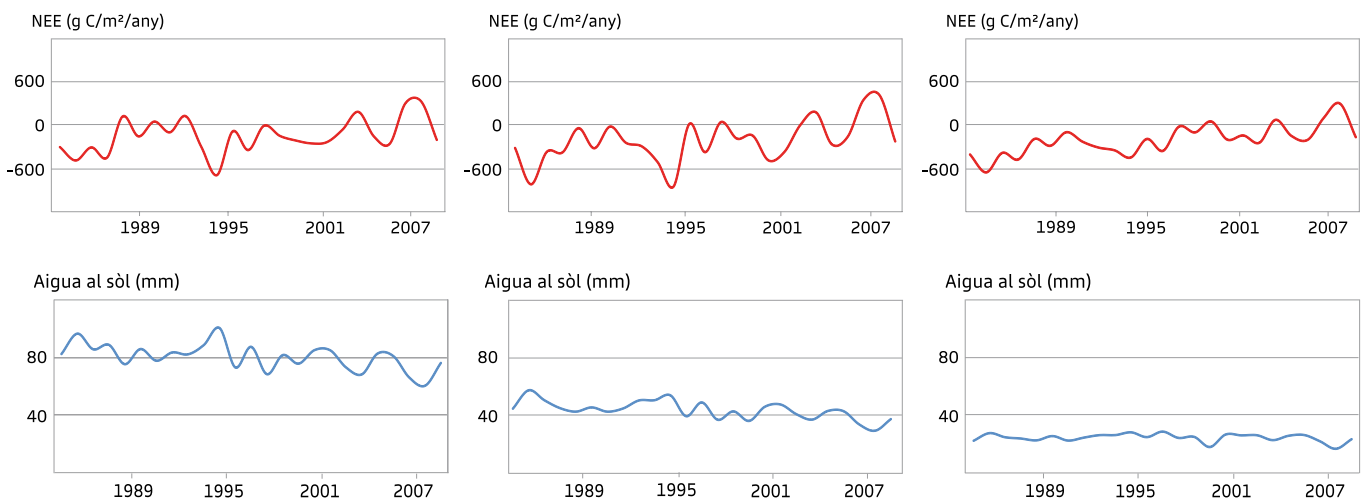


Figura 78. Resultats per al període 1984-2008 per a l'intercanvi net de carboni de l'ecosistema (NEE, a dalt) i l'aigua al sòl (a baix). Per al NEE, valors negatius indiquen captació de carboni i valors positius emissió

A la Figura 78 s'hi mostren els resultats de dues variables analitzades per a les tres conques d'estudi, l'intercanvi net de carboni de l'ecosistema a l'atmosfera (NEE) i l'aigua al sòl.

2.5.5. Risc d'incendi de les masses forestals

Una de les vulnerabilitats territorials més rellevants a l'àrea mediterrània és el risc d'incendi. Estudis observacionals ja han trobat correlacions molt consistents entre les variables climatològiques i els índex de risc d'incendi forestal, així com amb el nombre i l'àrea dels incendis (Piñol i Terradas 1998).

En aquest treball hem adoptat l'índex Drought Code (DC), del Canadian Forest Fire Weather Index System (http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/en_CA/background/summary/fwi).

Es tracta d'un estimador de la sequedat acumulada del combustible tot prenent en consideració la temperatura màxima diària i la precipitació acumulada. Treballs recents a Catalunya amb aquest indicador estableixen una correlació significativa entre els valors de l'índex DC i l'augment exponencial de l'àrea cremada observada, alhora que apunten el llindar de valors de DC 600–800 per considerar que el risc de tenir un gran incendi és molt elevat (Loepfe 2010). Els resultats (Figura 79) mostren la distribució dels dies de risc d'incendi al llarg de les conques per al període de referència.

2.6. Com són els conreus?

Robert Savé, Felicidad de Herralde, Xavier Aranda i Carmen Biel. IRTA.

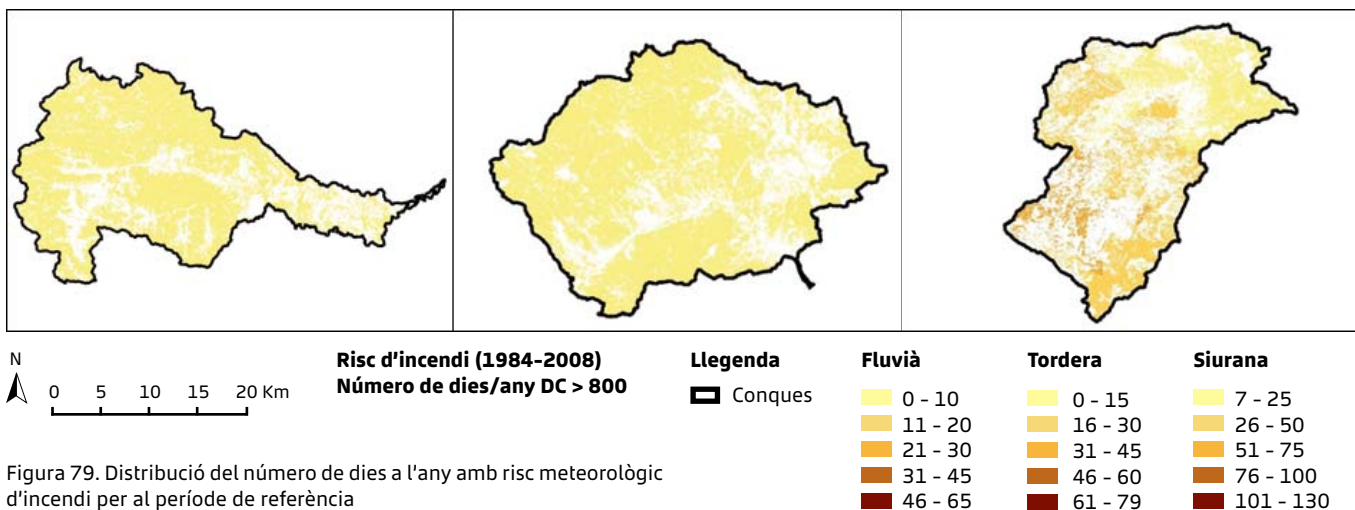
2.6.1. Introducció

L'agricultura a la Mediterrània està constituïda per diferents conreus amb una productivitat limitada per les condicions ambientals, però millorada gràcies a mètodes i sistemes agronòmics generats en base al coneixement genètic i ecofisiològic de les espècies conreades.

L'agricultura és la principal empresa de l'ús de la terra en tot el món, generant un important desenvolupament econòmic, social i cultural, alhora que ofereix una àmplia gamma de serveis. És important destacar que l'agricultura, tot i la seva tecnificació, continua sent molt sensible a les variacions del clima, que és la principal font global de variabilitat interanual en la producció agrícola (Faust 1987), tot i que cada cop més fenòmens especulatiu generen fenòmens additius a aquesta resposta (Aggarwal 2003, 2008; Tubiello and Amthor 2007).

Les regions mediterrànies apleguen la major part de la població. Aquest fet, valorat en sentits contradictoris per diferents sectors de la societat, és una realitat que sens dubte es perllongarà en el temps i potser en l'espai en els propers anys.

Conciliar aquesta realitat junt amb l'agricultura tradicional, no tant sols com a activitat econòmica



o en el sentit cultural sinó també en el geogràfic i paisatgístic, pot ésser el primer pas vers la seva gestió integral, sostenible i respectuosa amb el medi i sobretot amb les persones que hi viuen, junt amb les seves activitats.

Així en aquestes àrees es poden distingir tres aspectes relacionats amb l'agricultura (Easterling and Aggarwal 2007; EEA 2008): aspectes productius, ambientals i estètics.

2.6.2. Aspectes productius

La diversitat productiva a l'àrea costanera de la Mediterrània és enorme, ja que passem des de grans superfícies de monocultiu fins a explotacions altament intensives sota coberta o no. Aquesta diversitat es concreta en els tipus de sòls, la quantitat i qualitat d'aigua, de fertilitzants, pesticides, d'energia, etc. emprats. Això dóna lloc a diferents nivells de producció i en conseqüència de guanys i de distribució geogràfica dels conreus i dels agricultors.

Aquest aspecte productiu és interessant per la cadena de diversitat biològica que es sustenta des dels diferents conreus i per la diversitat d'oferta en producte i en el temps que està a l'abast d'un important nombre de persones. Aquesta diversitat d'oferta si es pogués canalitzar seguint unes estrictes normes de traçabilitat alimentària, tot d'acord als diferents sistemes de producció (orgànic, biològic, integrat,...) i cercant l'especificitat i qualitat del producte i l'apropament del mercat, podria resultar competitiu en front de productes massificats, no especialitzats i de procedència llunyana. Si l'acceptació d'aquests productes especialitzats es produeix com ha passat i està passant en altres països del primer món, l'increment i/o l'estabilització de guanys pot ajudar al manteniment d'un sector primari agrícola, en detriment del creixement desmesurat i/o especulatiu de la construcció d'habitatges.

2.6.3. Aspectes ambientals

Com qualsevol activitat, l'agricultura genera residus. Així, podem parlar de grans quantitats de restes vegetals no emprades en la comercialització, substrats,

pesticides, fertilitzants, plàstics, ferros, aerosols, gasos amb efecte hivernacle, productes al·lèrgics,...

Però sens dubte el major problema ambiental que es genera en aquests moments lligat a l'agricultura, és l'ús de l'aigua. L'optimització en l'ús de l'aigua no tan sols s'ha d'interpretar des del punt de vista de gastar menys i més eficientment, sinó que a més a més s'ha de valorar des de la perspectiva que aquesta es torni al cicle tan neta com sigui possible per tal que pugui tornar a ser utilitzada amb una menor despesa ambiental.

L'energia i l'aigua en un ecosistema estan íntimament lligades. La radiació total és bàsica per al desenvolupament de l'evapotranspiració que, al seu torn, és un component important en el flux d'aigua i d'energia, d'una comunitat vegetal. La radiació total és l'equilibri entre la radiació entrant i sortint d'ona curta i llarga. Els ecosistemes afecten a la radiació total a través de l'albedo (reflexió d'ona curta), que depèn de la reflexió de fulles individuals i d'altres superfícies juntament amb la rugositat del vol, la qual està afectada per la seva alçada i complexitat. Gran part de l'energia absorbida és alliberada a l'atmosfera com a flux de calor latent (evapotranspiració) i com a flux de calor sensible. El latent refreda a la superfície i transfereix vapor d'aigua a l'atmosfera, mentre que el sensible escalfa l'aire de superfície. El coeficient de Bowen, el quocient entre ambdós fluxos, determina la relació entre el cicle de l'aigua i el de l'energia.

L'aigua penetra en l'ecosistema terrestre, principalment, a través la precipitació -en el cas de l'agricultura a més, o exclusivament, pel reg-; i l'abandona per evapotranspiració, escorrentia i la infiltració. L'aigua circula pels ecosistemes, pels conreus, com a resposta als gradients de potencial d'aigua, que venen determinats pel potencial de pressió, el potencial osmòtic, el potencial gravitacional i el potencial matricial. L'aigua disponible al sòl es desplaça cap a l'atmosfera a través de la planta pel continu hídric sòl - planta - atmosfera, el qual està generat per un gradient de potencial hídric. Es tracta del sistema circulatori obert dels vegetals, i en el qual el sol realitza la funció de cor.

Aquest flux es produeix tant en fase líquida com en vapor. Està condicionat per fenòmens interns,

propis de la planta; del conreu (espècie, edat, estat fisiològic, patologies...); i externs, els denominats estressos ambientals. Aquests fenòmens poden ser al seu torn biòtics (patologies, herbivoria, competència intra i/o interespecífica...) o abiòtics (temperatures extremes, sequera, salinitat, radiació, contaminació, foc...).

En tota la conca mediterrània en general i a l'Estat espanyol en particular, en els darrers anys s'estan produint canvis importants en la forma de vida de la seva població. Així el desenvolupament de la ciutat difosa, la segona residència i el turisme han generat un nou model de creixement, d'ocupació de l'espai i en conseqüència d'ús dels recursos. Lògicament l'increment en l'ús de l'aigua ha estat important, tant per despesa directa de la població com indirecta per usos no metabòlics (Terradas, 1987). Entre aquests cal destacar-ne els associats al lleure: esport, lleure, jardineria, paisatge, anticontaminació, antiestrès... Tot i això, les despeses hídriques no són tant importants com es preveia anys enrere a causa d'un millor aprofitament de la precipitació; millores tecnològiques en tot el cicle de l'aigua; increment del cost tant del seu ús com el de l'energia; així com una progressiva conscienciació tant per part de les administracions com dels consumidors.

Tanmateix, hi ha consciència de malbaratament de l'aigua, sobretot per part de l'agricultura i la jardineria, per aquest motiu des de les diferents administracions es planteja la denominada Nova Cultura de l'Aigua, en la qual pren importància l'aprofitament d'aigües subterrànies i regenerades.

En l'optimització del reg és important conèixer en primer lloc la vegetació i el tipus d'ús que se li vol donar per tal de plantejar les diverses solucions tecnològiques adients a cada situació. Respecte a les tècniques de reg emprades, el sistema de reg per aspersió juntament amb el d'inundació són els més utilitzats en l'agricultura de Catalunya. Però aquests sistemes presenten determinats inconvenients, com l'eficiència en la seva aplicació així com les restriccions quan s'utilitzen aigües regenerades o de baixa qualitat. Aquestes restriccions es fonamenten en la formació d'aerosols o pel fet de mullar directament el producte de consum que en casos on pot existir contaminació microbiana pot actuar com a dispersant. En aquest context, el

reg per degoteig es presenta com un sistema amb importants avantatges respecte a l'aspersió, ja que en condicions adequades de projecte i maneig, la seva eficiència és superior.

La Unió Europea dibuixa pels propers anys una agricultura d'elevat valor afegit a partir de la suma de producció de gran qualitat i una especificitat amb valors clarament ambientals. En aquest context és evident que l'agricultura i la jardineria consumeixen aigua, però cal recordar el seu paper imprescindible en dos processos clau: permetre la fotosíntesi (balanç CO₂/H₂O) i permetre el creixement (turgència cel·lular). És cert que es consumeix molta aigua per transformar-la en matèria viva, per tant cal valorar la necessitat de millorar l'eficiència del procés.

L'agricultura es pot definir com l'aprofitament social de la producció primària. Per tant, l'eficiència en l'ús de l'aigua serà maximitzar la producció amb un mínim consum de recursos hídrics.

Tanmateix, cal tenir en compte que les plantes conreades en un sentit ampli són totes les espècies o varietats que l'home obté menjar, fibres, drogues, plaer estètic, milloren l'ambient o la qualitat de les nostres vides. En aquest sentit el nombre d'espècies vegetals emprades en agricultura és increïblement gran a causa de l'ampli rang geogràfic on es desenvolupen i de la diversitat en les atribucions que els hi conferim. Conseqüentment, és impossible parlar respecte a un nombre concret d'espècies, de grups botànics o atributs morfològics o fisiològics comuns. Es tracta d'un gran repte ja que s'inclou en un mateix grup a falgueres, herbes, gramínies, arbusts, lianes, arbres, cactus, algues...

A més, en el denominat Primer Món, l'agricultura canvia ja que els conreus han d'oferir algun tipus de valor afegit. En aquest sentit la qualitat, l'estabilitat i la traçabilitat són factors productius molt importants que obliguen a definir un nou terme.

La productivitat és la part de la producció primària que ens interessa, per tant l'eficiència en l'ús de l'aigua agrícola és la relació entre la producció que ens interessa i la quantitat d'aigua aplicada.

Tanmateix la pràctica agrícola promou grans avantatges ambientals com són la racionalització

en l'ús del sòl, fragmentant o evitant la proliferació de grans zones urbanitzades; contribuint com a barreres verdes enfront de l'erosió, la invasivitat o el foc; generant hàbitats on es poden trobar com a sedentaris o visitants un gran nombre d'espècies de fauna, que a part de contribuir a la biodiversitat, actuen com a controladors de determinades patologies vegetals; és un gran consumidor de subproductes de l'activitat ramadera, industrial i humana, els quals després de tractaments previs de compostatge, deshidratació, etc., podran ésser emprats per la millora i /o fertilització dels sòls.

Un altre punt important des del punt de vista ambiental i totalment d'acord amb les normatives de la cimera de Kyoto, és l'efecte fixador del diòxid de carboni. Això, a part d'afavorir l'increment de biomassa per diferents usos (energies a partir de biomassa, increment de producció bruta, increment/modificacions metabòliques, canvis en el fraccionament de la biomassa,...), pot també ajudar a alentir l'increment de gasos amb efecte hivernacle en l'atmosfera.

Un punt clau, en aquesta visió paisatgística en la nostra activitat és el fet de tractar d'incidir en el cicle de l'aigua, però no tan sols reduint el consum, sinó millorant el cicle en si, fent que la vegetació jugui determinats papers en el cicle hidrològic (reducció d'escorrentia superficial, infiltració d'aigua a nivells profunds del sòl, reducció de l'evaporació superficial, redistribució de l'aigua en el sòl, etc.). Modulant la velocitat del cicle i millorant la seva qualitat d'acord a les nostres necessitats d'ús.

2.6.4. Aspectes estètics

L'agricultura en un sentit ampli engloba la jardineria i la restauració del paisatge pel qual, a part dels innegables valors estètics/ornamentals del paisatge agrícola *per se* i dels retalls de vegetació natural o quasi natural que aquesta activitat preserva, hi ha tota una sèrie d'actuacions de restauració i d'enjardinament que el model actual de societat reclama com a quelcom inherent al mateix. Així s'ha passat de considerar els jardins com una extensió estètica, moltes vegades de propietat i/o origen particular, a extenses superfícies comunes amb una clara funció ambiental, higiènica, social i de revalorització del territori.

D'igual manera el paisatge ha adquirit un major valor, si més no estètic i és d'esperar que en breu, aquest sentit estètic i moltes vegades estàtic, es transformi en un sentit clarament dinàmic i ecològic. Aquest fet, sens dubte, portarà a un alt nivell de restauració del paisatge, el qual en la vasta àrea propera a la Mediterrània porta a tractar un amplí ventall de possibilitats ecològiques, com són els boscos, rius i rieres, aiguamolls, platges, grans obres públiques, conreus, pedreres, etc.

Un altre punt important i àmpliament difós en la restauració ecològica del paisatge, és la construcció de corredors verds que comuniquen diferents espais ecològicament remarcables.

Al considerar aquesta important quantitat/densitat de població, els aspectes higiènics i lúdics de l'agricultura prenen una especial importància, per mantenir la salut de les persones a un bon nivell. Per tant s'hauran de tenir en compte els camps esportius, les barreres verdes en front a diferents estressos ambientals per la població (soroll, pols, fums, olors,...), la vegetació en l'interior dels edificis (filtres de pols i soroll, matissadors de llum,...).

2.6.5. Distribució actuals de conreus

El sector socioeconòmic que consumeix, que gestiona, més aigua en tot el país, és el sector agrícola, que utilitza aproximadament el 80% dels recursos hídrics (Savé et al 2009).

Històricament la producció agrícola, s'ha confós amb la productivitat, és dir la quantitat de producte potencialment comercialitzable per unitat de superfície i de temps, que fa que s'estigui molt lluny del coneixement de la producció primària real i en conseqüència els potencials balanços de carboni, siguin difícils, aproximats i moltes vegades massa allunyats de la realitat. Així, no es tenen en compte els creixements de parts de la biomassa que no són directament productives, bé perquè s'eliminen al llarg del conreu, generalment anualment, en successives podes de formació, conducció, adaptació (branques i fulles), bé perquè no es tenen en compte (arrels).

Actualment en la superfície de Catalunya el 57% són boscos o masses forestals, el 33% conreus

(68% de secà i la resta de regadiu amb protecció o no), el 4.6% està urbanitzada i el 5.4% són terrenys no aprofitables (lleses, llacs, rius, i estrats d'alta muntanya) (Anglès 2009; DAAR 2007).

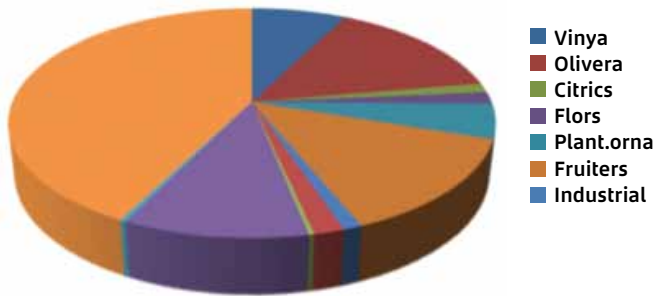


Figura 80. Percentatge de distribució de grans conreus en Catalunya. Font: Anglès 2009; DAAR 2007

Cal també tenir en compte per l'agricultura, com ja s'ha explicat, la gran quantitat de diferents espècies i varietats, combinacions patró/varietat que s'utilitzen en la pràctica agrícola. Aquest fet ha de combinar-se en una gran variabilitat ambiental natural (micro- i mesoclimas, característiques dels sòls i les aigües) juntament amb la generada mitjançant mètodes i sistemes agrònoms (reg, fertilització, control de patologies, conducció, etc.). Tot això genera dificultats per obtenir informació clara i precisa del cicle del carboni en els nostres conreus. També hi ha un forat en el coneixement degut a que, fins ara, amb petites excepcions com és l'exemple de relació institucional i treball conjunt real IRTA – CREAM, l'agronomia i l'ecologia havien estat dues disciplines allunyades, sinó contraposades, donada la complexitat dels agroecosistemes des d'un punt de vista natural i social, per la gran implicació humana, fet que dificulta l'aplicació de la teoria ecològica i la interpretació de l'agronomia (Gliessman 1990; Goudriaan 2001).

En el cas de Catalunya estaríem parlant d'aproximadament 835104 ha agrícoles de les quals, en grans números 527309 i 237365 ha serien les corresponents al secà i regadiu respectivament.

Segons el Segon Informe del Canvi Climàtic en Catalunya (Llebot 2010) es pot considerar, a grans trets, que la fixació de C es situa en uns valors de 4.37 i 10.92 t C. ha⁻¹.any⁻¹ pel secà i regadiu

respectivament, el que dona unes xifres de 2.30·10⁶ i 2.59·10⁶ t C·any⁻¹ per tota la superfície de secà i regadiu respectivament; essent 4.89·10⁶ les tones totals de carboni potencialment capturat per l'agricultura de Catalunya. Xifres importants, en ordre de magnitud, valorant-les respecte les que apareixen en els nostres boscos, però amb una temporalitat absolutament diferent fruit de les necessitats agrònoms i de mercat mostrant, a més, la dicotomia abans entre fixació i emmagatzematge, entre fixar i ser embornal.

Es pot dir que de la potencial producció primària anual, 2.89 i 1.48 t C·ha⁻¹ de secà·any⁻¹ i 7.21 i 3.71 t C·ha⁻¹ de regadiu·any⁻¹ es localitzen en la part aèria i soterrània respectivament, és a dir el 67 i el 33% respectivament, percentatges molt similars als mostrats en els nostres boscos, tot i la diferent aproximació matemàtica (Savé et al 2009, 2010).

D'acord amb l'informe del DAAR 2007, la producció total pels diferents conreus de Catalunya es pot xifrar en 6.91 t·any⁻¹, que dona, sense poder fer distincions entre conreus de secà i regadiu, una producció de 6.62 t de matèria fresca·ha⁻¹·any⁻¹, la qual considerant el percentatge d'aigua donaria un valor aproximat de 3.31 t de matèria seca·ha⁻¹·any⁻¹, i en conseqüència unes 1.39 t de C·ha⁻¹·any⁻¹.

Aquestes grans xifres indicarien que la productivitat, la producció agrícola efectiva, la consumible, estaria al voltant del 20% de la producció total.

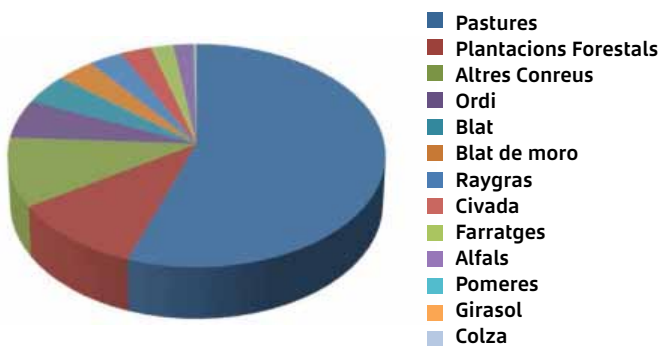
Fent una simple aproximació es pot veure com aquest 20% es mobilitzarà més o menys ràpidament vers el metabolisme somàtic (aliments) i/o exosomàtic (fonts d'energia, manufacturats, etc.) de la població. La resta de producció aèria serà mobilitzada de maneres ben diverses segons el conreu i sistema agròmic emprat en ell, tanmateix una part molt important (fulles, branques, flors,...) serà tornada anualment al cicle, restant tan sols acumulant carboni el troncs, que poden suposar una quantitat important, però altre cop molt variable atenent a l'espècie (arbre o arbust) i a l'agronomia tipus de poda, entutorat, conducció), i a la fi serà retornat al cicle d'acord a les expectatives variables del binomi mercat / producció, fet que dona uns cicles de tall d'entre 2 i 70 anys (arbusts PAMS i vinyes).

Amb totes aquestes especificitats focalitzades en la producció i productivitat per conreu, cal afegir la valoració de l'eficiència en l'ús de l'aigua, que com s'ha dit variarà entre espècies, sistemes de reg emprats, fenologia, tipus de conducció agronòmica, etc., que dificulta parlar de xifres concretes, havent de parlar de fer sostenible el seu ús, és a dir, fàcilment aprofitable per altres, estalviar-ne, reduint el seu consum i fer-lo eficient, aplicant l'aigua, emprant-la

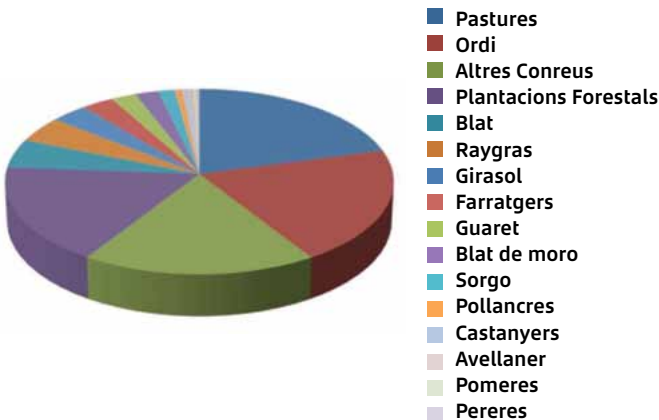
quan, on i com sigui necessària. És l'única manera de fer agricultura en el segle XXI, és la manera de fer activitat, valorant que aquesta forma part d'una xarxa complexa de biodiversitat, en la qual es troba l'home.

Les tres conques estudiades en el present projecte presenten unes marcades diferències climàtiques, socioeconòmiques i també agrícoles, en el que fa referència als conreus i la seva agronomia (Figura 81)

FLUVIÀ



TORDERA



SIURANA

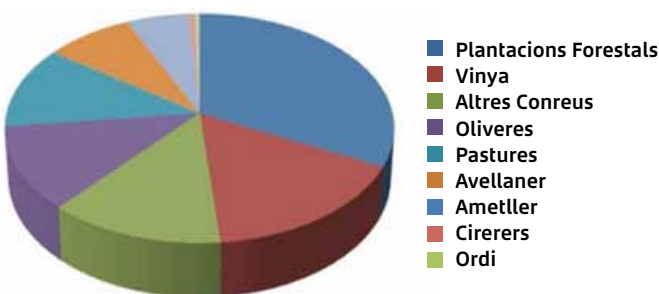


Figura 81. Distribució de conreus en la conca del Fluvià, Tordera i Siurana

2.6.6. Casos d'estudi

Com a part del projecte ACCUA, s'han estudiat dos casos concrets de producció agrícola a la conca del Siurana: la influència del clima en la producció d'olives a Cabacés i en el grau alcohòlic de la vinya del Siurana. A continuació es mostren els principals resultats d'aquests estudis. Els documents complets es poden consultar a l'annex 7.7 i a l'enllaç <http://wine.uab.cat/Comunicacions%20orals/P%2009%20Sav%E9%20Global%20Change%20Influence%20on%20Vine%20.pdf>.

2.6.6.1. Influència del clima en la producció d'olives de Cabacés

A partir d'una anàlisi dels darrers 40 anys s'ha detectat que la variable més influent en la producció d'oli són les temperatures màximes primaverals i la precipitació primaveral i estival. La primavera és un moment clau per al cicle vital de l'olivera, ja que és el moment de la seva floració. Una certa garantia de precipitació a l'estiu és important per a la producció d'olives per evitar que el cultiu pateixi un estrès hídric molt crític.

La producció s'ha vist altament afavorida al llarg de la darrera dècada per un augment de les temperatures màximes primaverals i, sobretot, per la introducció del reg de suport. Des de la construcció de l'embassament de Margalef als anys 90 s'ha estès el reg de suport al 95% de les plantacions.

Les collites d'enguany tripliquen la dels anys 70. Però en alguns anys, com per exemple al 2002, les produccions tornen a valors dels anys 70 per l'ocurrència de fortes glaçades. Les pèrdues econòmiques són molt més exagerades llavors. D'altra banda, el reg de suport es troba en continuat augment per garantir unes produccions

cada vegada més elevades. No obstant, l'escassa precipitació estival a la conca del Siurana s'està reduint encara més al llarg de les darreres dècades. Per tant, el reg de suport també es podria trobar limitat en el futur.

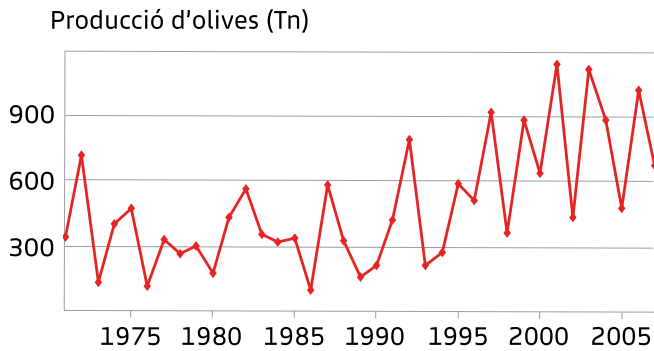


Figura 82. Producció d'olives (tones) a la cooperativa de Cabacés (1971-2007). S'observa el notable increment de la producció a partir de la segona meitat de la dècada dels 90.

En conclusió, les temperatures màximes del mes d'abril poden ser un indicatiu fiable per a la previsió productiva d'olives i d'oli, sempre que aquesta no estigui condicionada per altres factors com l'estrès hídric que pot patir l'olivera en el període estival o les fortes glaçades que es poden donar durant l'hivern anterior a la collita.

Influència del clima en el grau alcohòlic de la vinya del Siurana

En les darreres dècades, la viticultura a la Mediterrània ha estat millorant amb mètodes agronòmics basats en coneixements ecofisiològics i genètics de les espècies i varietats conreades.

Els sistemes mediterranis es caracteritzen per l'estrès climàtic. En conseqüència, el creixement de plantes, rendiment i qualitat depenen en gran mesura del clima. Se sap que el canvi global i el canvi climàtic associat, juntament amb un increment anual de la variabilitat del propi sector vitivinícola deguda a factors econòmics, farà augmentar la vulnerabilitat d'aquesta indústria.

En l'actualitat, per millorar la qualitat dels vins negres, és necessari establir les característiques dels compostos fenòlics de les pells i les llavors de les baies, i com aquests es veuen afectats per

les sequeres. El contingut de sucre del raïm i el contingut d'alcohol d'origen vínic es consideren com els principals paràmetres de qualitat.

L'objectiu d'aquesta investigació ha estat estudiar els efectes de l'actual canvi global sobre la grau d'alcohol en els vins procedents de vinyes situades a la Denominació d'Origen Montsant (DO) (sud de Catalunya).

Així, s'ha estudiat l'evolució del clima en els últims 25 anys (1984-2008) juntament amb els canvis en el contingut d'alcohol de les varietats de raïm negre. Els canvis en les pràctiques agronòmiques i els canvis de la coberta del sòl també s'han tingut en compte. En les anàlisis del clima, s'ha determinat els mesos que presenten una possible influència del clima sobre el contingut d'alcohol. A més, s'han estudiat els patrons de circulació atmosfèrica sobre el NE de la península Ibèrica durant aquests mesos. Finalment, s'ha determinat la coberta vegetal, les diferents varietats de raïm, les pràctiques agronòmiques i els canvis en les tendències del sector del vi durant els últims anys a la regió de Montsant.

Els resultats mostren un gran augment en el contingut d'alcohol durant els últims anys, però això és només s'explica, en part, pels canvis de temperatura i precipitacions. La circulació atmosfèrica en superfície a l'agost determinaria, parcialment, el contingut d'alcohol final.

L'escalfament global no mostra cap relació directa amb aquest augment significatiu en el grau d'alcohol. Altres factors, però, associats amb les tècniques de la viticultura, els sistemes de cultiu i el material vegetal, podrien tenir un major influència en aquesta variació recent.

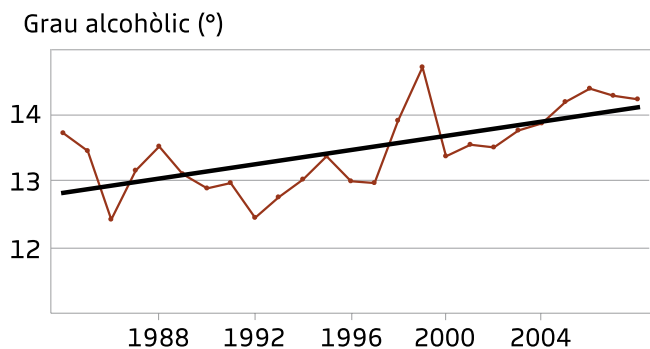


Figura 83. Tendència promig del grau alcohòlic en els vins de la conca del Siurana analitzats a l'INCAVI de Reus (1984-2008)

3. Com seran les conques?

3.1. Com serà el clima?

*Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.
Javier Retana, Jaume Terradas. CREA
Lucila Candela, Karim Tamoh, Manolo Gómez,
Gonzalo Olivares. UPC*

Hi ha força consens científic a l'hora de predir que l'àrea mediterrània serà una de les zones del món més afectada pel canvi climàtic. Així ho apunten els estudis científics internacionals que prediuen augments rellevants de temperatura i descensos de precipitació en aquesta àrea al llarg del segle XXI (Figura 84). Pel fet de ser una zona de transició biogeogràfica, la Mediterrània és, a més, un dels biomes més sensibles als canvis en els patrons i règims climatològics.

L'últim informe de l'IPCC (2007) va determinar, per primera vegada i basat en el coneixement d'una àmplia comunitat científica internacional, que

l'origen de l'escalfament global i, en conseqüència, del canvi climàtic, és, fonamentalment, antròpic. L'increment de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera (principalment diòxid de carboni però també metà, òxid nitrós i gasos fluorats) ha provocat l'escalfament global. Aquest canvi climàtic, que es produeix a nivell global té però repercussions, com és lògic, a nivell regional i local. Així, les prediccions d'aquí a finals de segle per a la regió Mediterrània, per exemple, apunten cap a un increment de la temperatura mitjana anual superior al de la resta del món, i amb un augment superior a l'estiu. Alhora, també es preveu un descens generalitzat de les precipitacions anuals, especialment a l'estiu, de manera que hi haurà menys dies de pluja i períodes més llargs sense precipitacions.

Els canvis previstos tindran més o menys severitat en funció de l'evolució de les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera. Tot i que deixéssim d'emetre aquests gasos avui, el clima continuaria canviant durant unes quantes

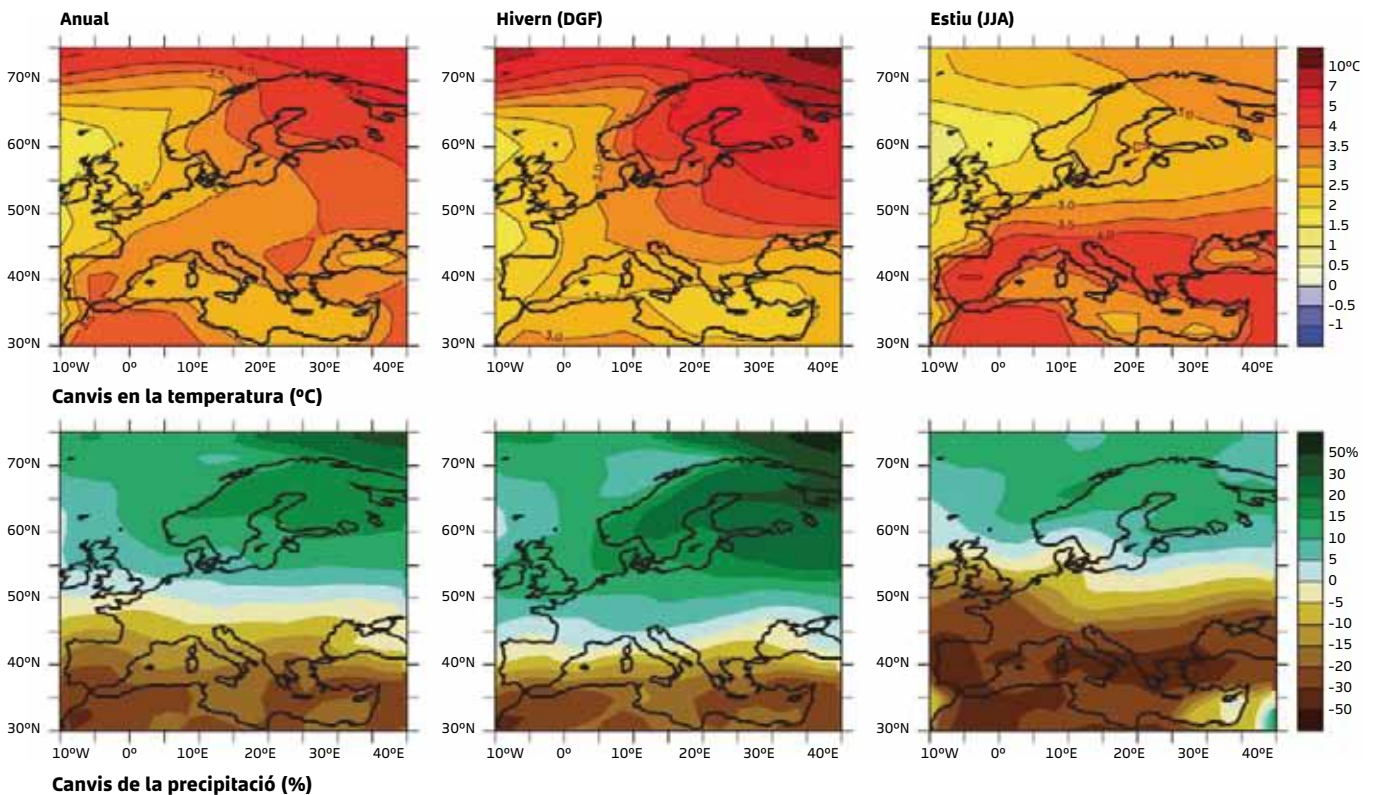


Figura 84. Canvis en la temperatura (a dalt) i de la precipitació (a baix) a Europa a partir de les simulacions de 21 models globals, per a l'escenari A1B. S'hi mostren les diferències entre el període 2080–2099 i 1980–1999, d'esquerra a dreta, per la mitjana anual, la d'hivern i la d'estiu. Font: IPCC Christensen et al. 2007.

dècades. A la Mediterrània, els impactes esperats poden tenir, a petita escala (regional i local), una magnitud i significació diversa, ja que es tracta d'una regió amb una elevada variabilitat temporal i espacial de les condicions ambientals. En aquest sentit, l'anàlisi de la resposta territorial als canvis previstos requereix d'una escala de treball amb prou detall per entendre aquesta variabilitat d'impactes i la integració dels processos socioeconòmics que hi interaccionen.

3.1.1. Models de circulació general

El desenvolupament de models climàtics ha permès l'obtenció de projeccions climàtiques futures tenint en compte processos antròpics a curt i llarg termini. Aquests models es basen en el coneixement actual del clima i dels factors que el afecten per definir com serà el clima del futur. En l'actualitat, s'han imposat els Models Acoblats de Circulació General Atmosfèrica i Oceànica (AOGCM). Aquests models són, en realitat, codis informàtics que resolen les equacions físiques i químiques dels processos que es donen a l'atmosfera, l'oceà, la hidrosfera, la criosfera i la superfície terrestre (Calbó *et al.* 2010). Els models quantifiquen variables climàtiques i simulen el seu comportament en funció de l'escenari d'emissions de gasos d'efecte hivernacle, que dependrà del model de desenvolupament demogràfic, econòmic i tecnològic que es produeixi. Els models tenen en compte la distribució espacial de les variables, utilitzant una resolució (mida de cada una de les peces de la quadrícula en què està representat l'espai) que varia molt entre models però que, en els AOGCMs, és d'alguns graus de longitud i latitud (3° i 1°, que correspon a una franja horitzontal aproximada d'entre 100 i 300 km i una resolució vertical d'entre 200 i 400 m).

Existeixen un gran nombre de models AOGCM que es diferencien en la resolució espacial i en la parametrització de les equacions principals del model. Importants centres de recerca meteorològica com el Max Planck alemany, la NASA o el Hadley Center nord-americà, entre d'altres, proposen els seus models climàtics. En aquest projecte s'ha seleccionat el model ECHAM5 de l'Institut Max Planck d'Hamburg.

L'ECHAM5 és l'última versió actualitzada del model global ECHAM, amb resolució aproximada de 50 * 50 km (1.5° de latitud) i 40 nivells verticals en zones oceàniques. Aquest model ha estat utilitzat al 4rt informe de l'IPCC i ha estat validat en diferents àmbits geogràfics.

3.1.2. Definició d'escenaris climàtics: B1 i A2

La concentració dels gasos d'efecte hivernacle emesos i els aerosols d'origen antropogènic són els dos factors més importants a l'hora de predir el clima. L'evolució futura d'ambdós factors és incerta i dependrà majoritàriament del tipus de desenvolupament demogràfic, econòmic i tecnològic que es produeixi. L'IPCC ha descrit quatre famílies (A1, A2, B1 i B2) d'escenaris cadascun dels quals representa, a nivell quantitatiu, els efectes derivats d'un escenari concret d'emissions (Figura 85).

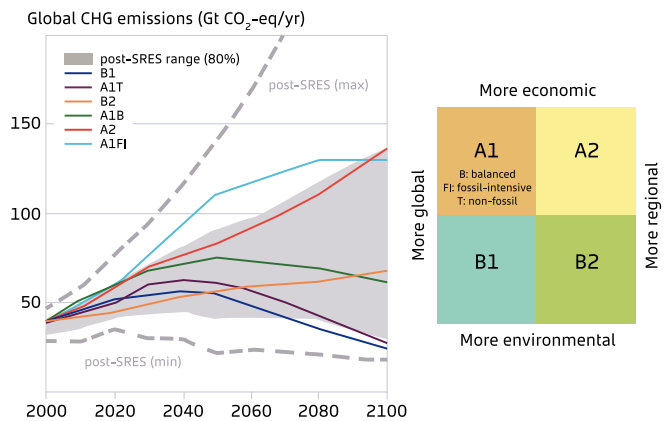


Figura 85. Descripció d'escenaris i evolució dels gasos d'efecte hivernacle en funció de l'escenari escollit (font: IPCC, 2007)

El primer és l'escenari A2, que representa els efectes sobre el clima d'un creixement econòmic i demogràfic elevat amb un augment d'escalfament global mitjà a final de segle de 3.5 °C respecte al període 1980–2000. El segon és l'escenari B1, que implica desenvolupament més racional amb una reducció del consum de recursos, la utilització de fonts d'energia netes i eficients, i una població global estabilitzada amb un augment d'1.8 °C de l'escalfament global. Aquestes projeccions

s'han utilitzat a ACCUA per predir la resposta de les conques al canvi climàtic a partir de diferents tècniques de modelització.

L'escenari A1 descriu un món futur de creixement econòmic molt ràpid, on la població mundial aconsegueix el seu nivell més alt a meitat de segle i disminueix posteriorment, produint-se una ràpida introducció de noves tecnologies més eficients. Aquest escenari es divideix en tres grups en funció del desenvolupament tecnològic: A1F1 (fonts d'energia intensives d'origen fòssil), A1T (energia d'origen no fòssil) o A1B (equilibri entre totes les fonts). Aquest desenvolupament implica un augment d'entre 2.4 (A1T) i 4.0 °C (A1F1) (Figura 86).

L'escenari A2 descriu un món molt heterogeni, amb un creixement demogràfic constant i sostingut però diferenciat entre regions. Les diferències econòmiques i tecnològiques entre regions es mantenen o augmenten. Implica el increment de 3.5 °C de temperatura del període 2080-2099 respecte al 1980-2000.

L'escenari B1 posa l'accent en solucions mundials a la sostenibilitat econòmica social i ambiental, la qual cosa comprèn una millora de l'equitat. Implica un desenvolupament més racional amb una reducció del consum de recursos, la utilització de fonts d'energia netes i eficients, i una població

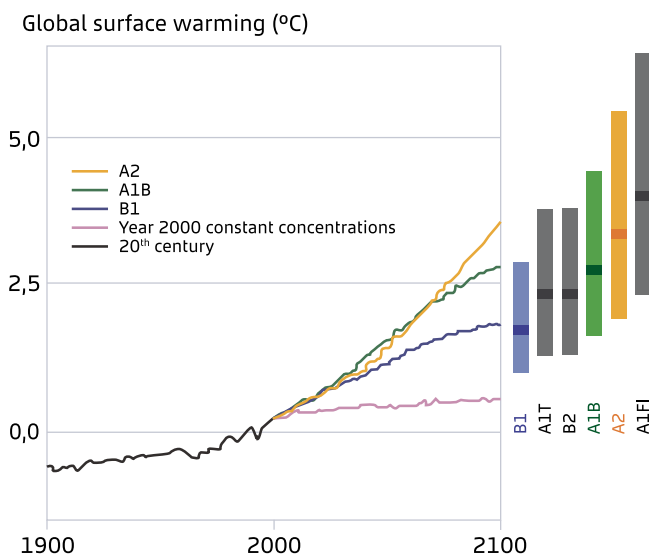


Figura 86. Evolució de la temperatura mitjana en el darrer segle i la seva projecció en aquest segle (font: IPCC, 2007)

global estabilitzada. Es preveu l'augment de l'escalfament global en 1.8 °C

Per l'últim, l'escenari B2 proposa solucions locals a la sostenibilitat econòmica, social i ambiental, amb un creixement demogràfic, econòmic i tecnològic menys ràpids i més variats que al B1 i A1. La sostenibilitat s'aproxima des de una escala més local o regional. La temperatura augmentarà en 2.4 °C.

En aquest projecte, s'ha escollit l'escenari mig-alt A2, en ser un dels escenaris versemblants de referència en la literatura i projectes científics, i l'escenari baix d'emissions B1 com a contrapunt. La traducció climàtica a Catalunya per al 2030 de les projeccions per als escenaris d'emissions seleccionats seria la següent:

Escenari A2 (2030)

- Increment de la temperatura mitjana anual de 1 °C, arribant a ser de 1.5 °C a les zones de muntanya.
- Canvis d'un -10% a la franja litoral quant a precipitació. Sense variacions a les capçaleres dels rius. Augment dels episodis extrems de precipitació torrencial.
- En general, la davallada de precipitació i l'augment més notable de temperatures es concentrarien a l'estació estival.
- Augment del nivell del mar d'uns 15-20 cm.

Escenari B1 (2030)

- Increment de la temperatura mitjana anual de 1 °C, arribant a ser de 1.5 °C a les zones de muntanya.
- Canvis d'un -5% a -10% a la franja litoral quant a precipitació. Cert augment de les precipitacions a les zones de muntanya.
- En general, la davallada de precipitació i l'augment més notable de temperatures es concentrarien a l'estació estival. A l'hivern, les temperatures es podrien mantenir sense canvis importants en general i la precipitació augmentar, fins i tot, significativament a les capçaleres dels rius
- Augment del nivell del mar d'uns 10-15 cm.

3.1.3. Generació de sèries climàtiques

Els models de circulació global no tenen prou resolució com per reproduir les característiques concretes del clima a una escala regional o local. Per aquesta raó s'han desenvolupat diferents tècniques d'escalat o regionalització (downscaling en anglès) que adapten les projeccions climàtiques globals a les característiques local de l'àmbit d'estudi. Les tècniques de regionalització s'agrupen en dos tipus:

- Regionalització dinàmica: Aplicació de models meteorològics d'àrea limitada (models mesoescalars)
- Regionalització estadística: Aplicació d'equacions empíriques per relacionar variables climàtiques a gran escala amb variables locals o regionals.

Per aquest projecte s'han fet servir les dues aproximacions metodològiques, disposant-se de les següents dades:

- Regionalització dinàmica: sèries generades pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) pel període 1971-2100. Les dades de referència són les sortides del model pel període 1984-2008.
- Regionalització estadística: sèries generades per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), pel període 2000-2050. Les dades de referència són les dades observades a les estacions meteorològiques pel període 1984-2008.

3.1.3.1. Regionalització dinàmica

La regionalització dinàmica realitzada pel SMC parteix dels resultats d'un model global a baixa resolució que defineix les condicions inicials i de contorn per a les simulacions a resolucions més altes amb un model d'àrea limitada (mesoescalar). Com a model global s'ha utilitzat l'ECHAM5-MPIOM (desenvolupat a Alemanya conjuntament entre el Centre Europeu de Predicció a Mitjà Termini i el Max-Planck Institut für Meteorologie d'Hamburg), mentre que el model d'àrea limitada és l'MM5 (que és un dels models que s'executa a l'SMC per donar suport a la predicció diària del temps). La resolució del model global és d'uns

200 km, mentre que les simulacions amb l'MM5 s'han fet a una resolució de 135 km, 45 km i 15 km. El resultat és la projecció d'una sèrie de variables climàtiques (principalment temperatura i precipitació, però també radiació solar, humitat relativa i velocitat del vent) cada sis hores.

La metodologia s'ha validat amb els resultats de les projeccions pel període 1971-2000, que es van comparar amb les dades registrades a estacions meteorològiques de superfície. La conclusió és que la regionalització dinàmica desenvolupada a l'SMC aportava molt bona informació de la distribució espacial del camp de temperatura i precipitació a Catalunya. Per últim, s'han determinat les projeccions de la temperatura i la precipitació a 15 km per al segle XXI (2001-2100) i forçant les simulacions amb dos escenaris d'emissions: A2 (sever) i B1 (moderat).

No obstant això, les dades climàtiques obtingudes de les regionalitzacions no s'haurien de fer servir directament com a input d'un model hidrològic per dues raons: (1) perquè sempre hi ha divergència entre l'evolució temporal diària real i la simulada; i (2) perquè hi ha discrepància entre els models globals per una mateixa cel·la espacial (Gaertner et al.). Aquestes efectes es poden corregir a través de tècniques d'escalat, procediment que dedueix uns factors d'escala que corregeixen els biaixos dels valors mitjans observats amb els valors simulats pel període de control o referència. Aquests factors d'escala s'apliquen a posteriori als valors simulats (precipitació, temperatura,...) pels models climàtics en les simulacions de control (o referència) i d'escenaris futurs. Aquestes sèries escalades s'introdueixen finalment com a inputs als models hidrològics per simular el balanç hídric durant el període de referència i comparar-lo amb els escenaris futurs. Les sèries climàtiques del SMC s'han corregit mitjançant un filtre gaussià de tres mesos per considerar les condicions locals de les conques d'estudi.

3.1.3.2. Regionalització estadística

Els models de circulació global (MCG) no proporcionen informació de les variables simulades en

termes de valor absolut, sinó el valor corresponent als canvis relatius entre dos horitzons temporals. L'objectiu d'aquest apartat és obtenir el factor de variació relativa (o proporcional) entre les condicions actuals (període històric) i els horitzons futurs proposats. La metodologia aplicada s'ha basat en pertorbar mitjançant mètodes estocàstics la variació relativa dels estadístics (mitjana i desviació típica) dels paràmetres meteorològics estimats pel MCG seguint els següents passos:

- Desenvolupament d'un generador estocàstic (clima local) basat en les propietats estadístiques (mitjana i desviació típica) de les sèries meteorològiques observades,
- Avaluació de les propietats estadístiques de les variables climàtiques estimades pel

MCG per a l'escenari de referència i la seva variabilitat segons les prediccions del MCG per a escenaris futurs,

- Adaptació dels paràmetres del generador de clima local segons les restriccions procedents del MCG.

La pluja és un fenomen discontinu en el temps. Per aquesta raó, el primer pas per desenvolupar el generador estocàstic de la precipitació és l'estimació de la probabilitat de pluja mitjançant un model de Markov de primer ordre. Aquest model defineix que la probabilitat de donar-se un dia sec o plujós depèn de la presència (o no) de pluja el dia anterior. D'altra banda, el volum de precipitació generada queda determinat mitjançant l'ajust de les dades experimentals a una distribució matemàtica coneguda (Exponencial, Gamma, Weibull, etc). En

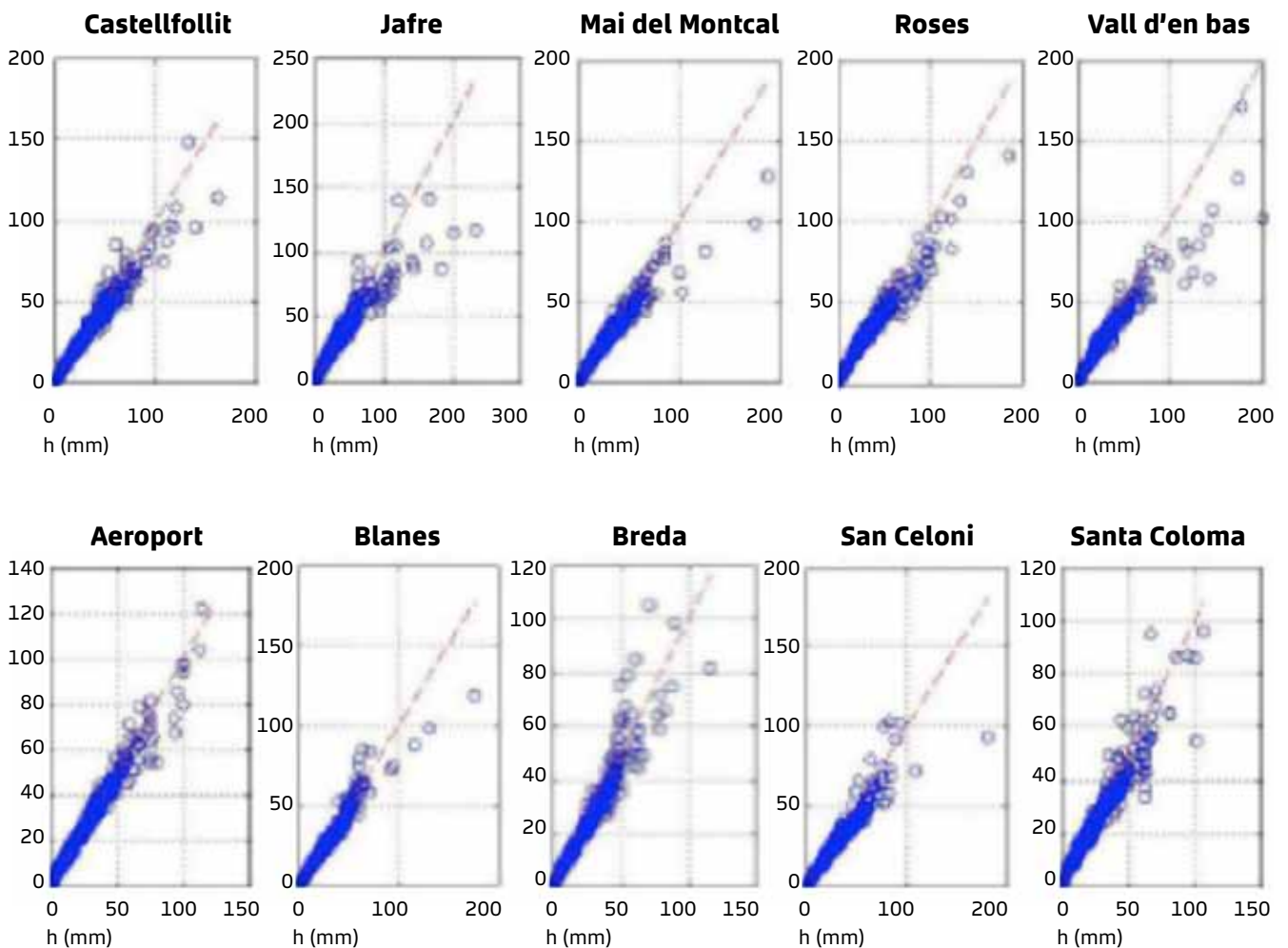


Figura 87. Diagrama Q-Q relatiu a les precipitacions comparant les dades històriques amb els resultats del model Weibull.

aquest projecte s'ha seleccionat la distribució de Weibull com la més representativa de les dades històriques. La Figura 87 mostra la bondat de l'ajust entre les sèries històriques i les dades generades estocàsticament amb la distribució de Weibull per a algunes estacions meteorològiques de les conques.

En la generació estocàstica de les sèries de temperatura (variable contínua) s'ha utilitzat un model clàssic de Mitjana Mòbil Acte-Regressiva (ARMA), definit per la següent equació:

$$y_t = \mu + \phi_1(y_{t-1} - \mu) + \varepsilon_t - \theta_1\varepsilon_{t-1}$$

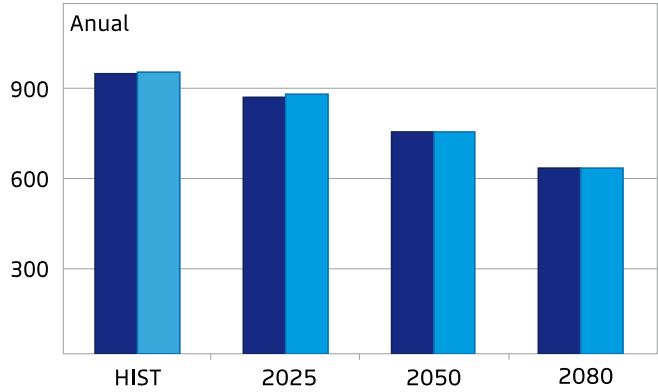
on μ és la mitjana, ϕ_1 el paràmetre de autoregressió, θ_1 el paràmetre de mitjana mòbil, i ε terme d'error, de mitjana zero i variància σ_ε^2 . El model ajustat presenta solament un terme autoregressiu i un terme de mitjana mòbil.

A partir de la metodologia aplicada i per a cada estació meteorològica, s'han obtingut els paràmetres específics corresponents al model de Weibull (precipitació) i al model ARMA (temperatura). L'escala de treball per als paràmetres és mensual. A partir dels paràmetres estimats pels models i els valors de les mitjanes mensuals de les prediccions futures s'han generat 200 sèries de 50 anys de dades de precipitació i temperatura diària per a cadascun dels escenaris següents:

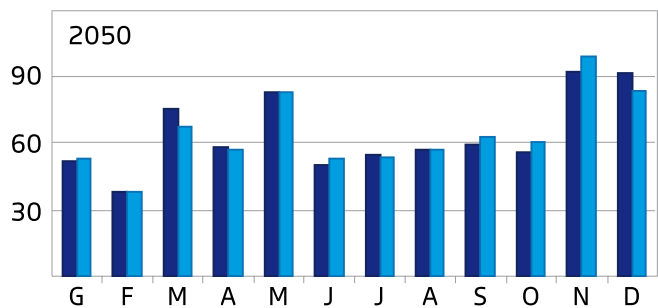
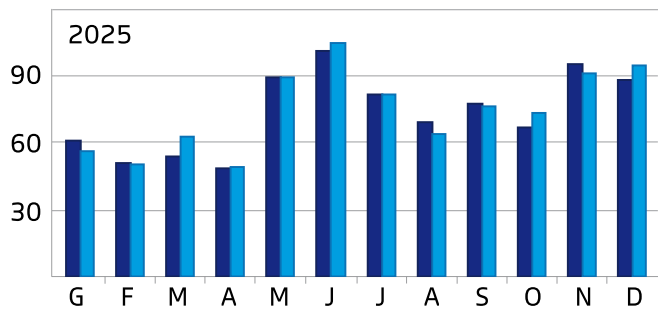
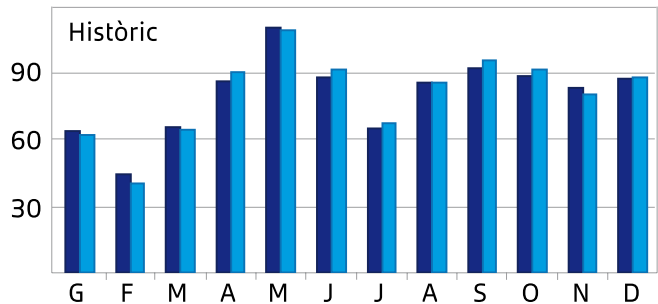
- Sèrie històrica
- ECHAM5 B1 (2025 – 2050 - 2080)
- ECHAM5 A2 (2025 – 2050 - 2080)

Totes les 200 sèries presenten mitjanes intermensuals equiparables al model global i, per tant, totes són vàlides. Per seleccionar la sèrie més apropiada s'ha buscat que les mitjanes intermensuals i interanuals fossin semblants al model global. La Figura 88 mostra un exemple de la sèries escollida a l'estació de la Vall d'en Bas. Resultats semblants s'han obtingut a la resta d'estacions.

Precipitació anual (mm)



Precipitació mensual (mm)



■ Model de circulació global ■ Regionalització estadística

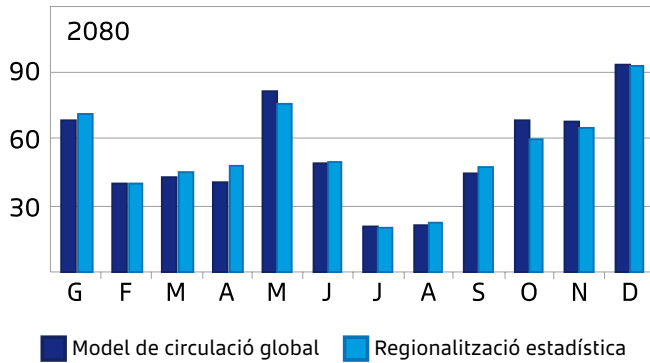


Figura 88. Comparació dels resultats de precipitació promig anual i mensual de la regionalització estadística amb les dades del model de circulació global.

3.1.4. Anàlisi de les sèries climàtiques:

3.1.4.1. Regionalització dinàmica del SMC

La Taula 43 resumeix els principals canvis registrats en precipitació i temperatura a les conques d'estudi per les projeccions climàtiques proporcionades pel Servei Meteorològic de Catalunya (ECHAM5) i els 2

escenaris utilitzats. Els resultats s'han agrupat en tres horitzons temporals: el període de referència, 1984-2008, que s'utilitza com a baseline per analitzar els canvis; (2) el curt termini (2006-2030) i el llarg termini (2076-2100). Les projeccions climàtiques estimen una reducció de la precipitació entre el 12 % (per l'escenari B1) i el 28.3 % (escenari A2) i un increment de la temperatura entre 2.1 °C (B1) i 3.8°C (A2) a finals del segle XXI.

La Figura 89 mostra els percentatges de variació de precipitació a nivell estacional per la conca del Fluvià. Tal i com s'observa, a curt termini l'estació més afectada pel canvi climàtic és la primavera a l'escenari B1 i el hivern a l'A2. A finals de segle, les estacions més afectades són l'estiu i la tardor. Els resultats són semblants per les altres conques.

S'ha fet una anàlisi espacial de la distribució de la precipitació al llarg del segle XXI per identificar les zones de les conques més vulnerables al canvi climàtic. Les figures següents mostren la reducció de la precipitació en mm per dècada a finals del segle en cada subconca. Al Fluvià, l'estació de l'any més afectada serà l'estiu en ambdós escenaris. A

Referència 1984-2008			Esc. 2006-2030 Canvi 2076-2100 Canvi					
Fluvià	Precipitació mitjana (mm)	1044.8	Prec	B1	983.1	-5.9%	863	-17.4%
	Temperatura màxima (°C)	19.25	Temp màx		19.8	0.6 °C	21.5	2.3 °C
	Temperatura mínima (°C)	6.75	Temp mín		7.5	0.8 °C	9.2	2.5 °C
Tordera	Precipitació mitjana (mm)	803.1	Prec	A2	972.8	-6.9%	771.3	-26.2%
	Temperatura màxima (°C)	20.35	Temp màx		19.6	0.4 °C	22.6	3.4 °C
	Temperatura mínima (°C)	7.9	Temp mín		7.2	0.5 °C	10.4	3.7 °C
Siurana	Precipitació mitjana (mm)	543.2	Prec	B1	759.7	-5.4%	683	-15.0%
	Temperatura màxima (°C)	20.25	Temp màx		20.9	0.5 °C	22.5	2.2 °C
	Temperatura mínima (°C)	9.2	Temp mín		8.5	0.6 °C	10.2	2.3 °C
			Prec	A2	750.9	-6.5%	626.4	-22.0%
			Temp màx		20.6	0.3 °C	23.6	3.3 °C
			Temp mín		8.1	0.2 °C	11.4	3.5 °C
			Prec	B1	517.9	-4.7%	451.2	-16.9%
			Temp màx		20.9	0.6 °C	22.5	2.3 °C
			Temp mín		9.9	0.7 °C	11.6	2.4 °C
			Prec	A2	511.2	-5.9%	420.7	-22.60%
			Temp màx		20.6	0.4 °C	23.6	3.4 °C
			Temp mín		9.6	0.4 °C	12.9	3.7 °C

Taula 43. Precipitació anual mitjana i temperatura màxima i mínima per període i canvis produïts en % de reducció de pluja i increment en graus de temperatura.

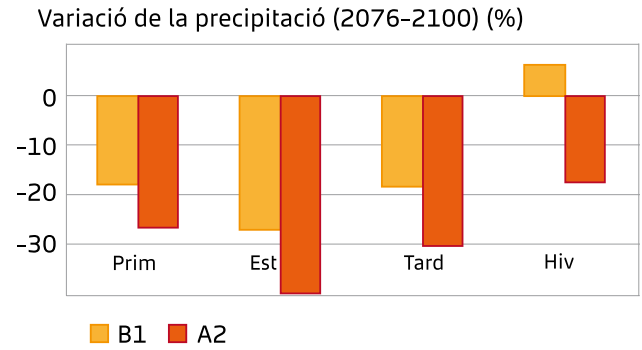
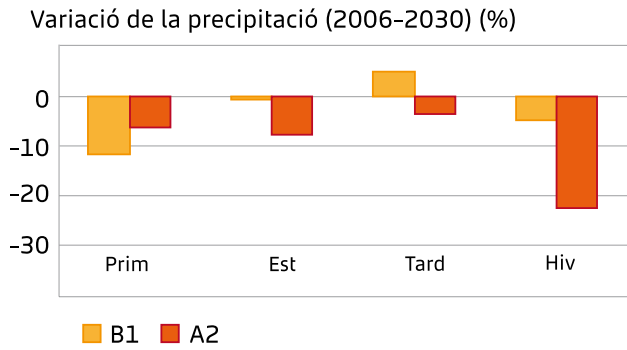


Figura 89. Variació de la precipitació a nivell estacional per escenari i període temporal pel Fluvià. Els percentatge de canvi estan calculats respecte al període de referència (1984-2008).

nivell espacial, la capçalera del Fluvià (Figura 90) patirà les reduccions més elevades al 2100 (fins a 53 mm per dècada, és a dir, fins a 530 mm menys al final del segle).

L'estiu és novament l'estació més afectada pel canvi climàtic a la Tordera i el Siurana (Figura 91 i Figura 92). Especialment, la capçalera d'ambdues conques patiran les reduccions més fortes.

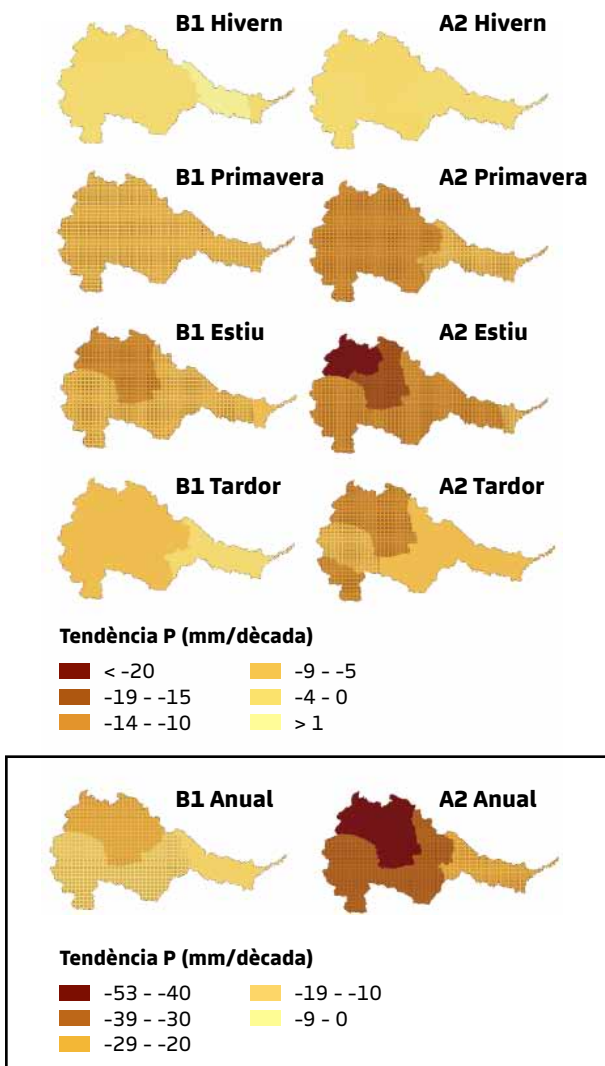


Figura 90. Reducció de la precipitació a nivell espacial al Fluvià al llarg del segle XXI. Els resultats es mostren a nivell estacional i anual.

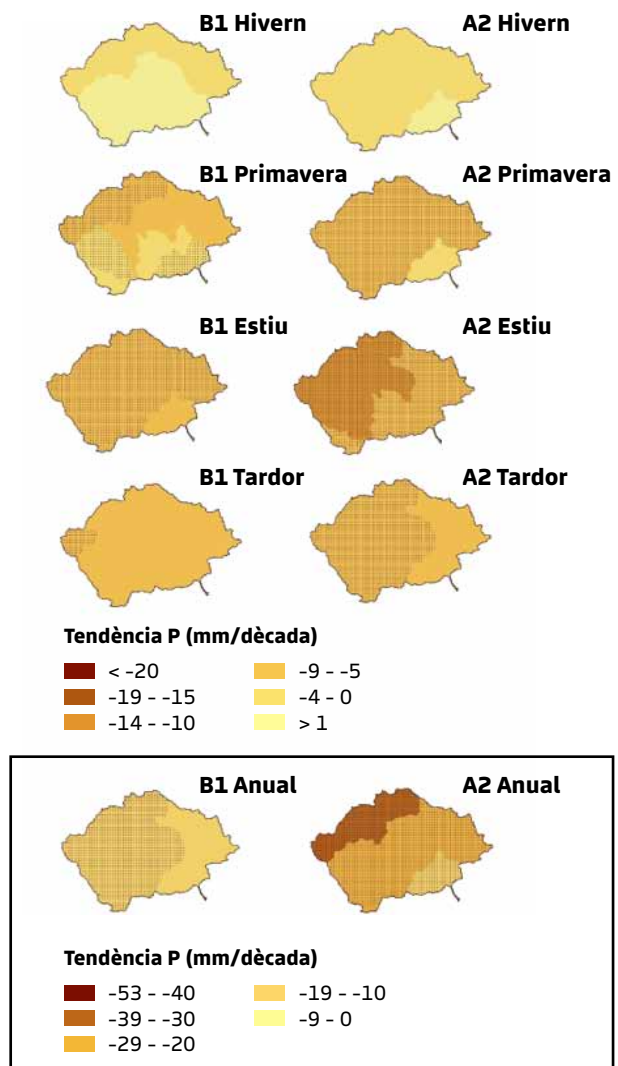


Figura 91. Reducció de la precipitació a nivell espacial a la Tordera al llarg del segle XXI. Els resultats es mostren a nivell estacional i anual.

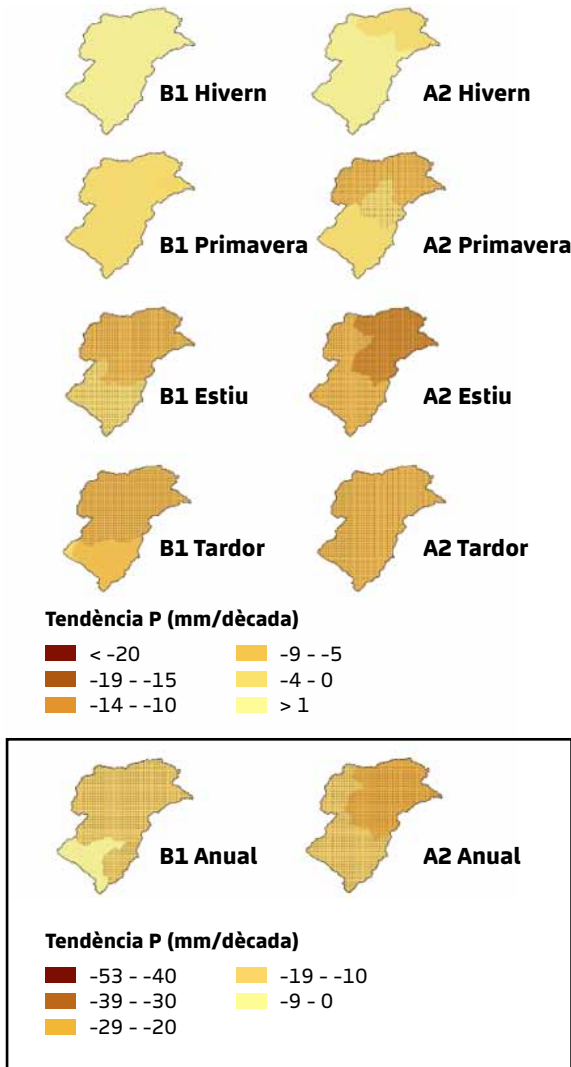


Figura 92. Reducció de la precipitació a nivell espacial al Siurana al llarg del segle XXI. Els resultats es mostren a nivell estacional i anual.

Comparant les tres conques entre sí, s'observa que les zones més humides en l'actualitat (capçalera del Fluvià i de la Tordera) patiran les reduccions de precipitació més severes i significatives al final del segle, amb les repercussions que aquest fet tindrà sobre els sistemes naturals, agrícoles i urbans.

La Figura 93 mostra l'evolució de l'evapotranspiració potencial al llarg del segle XXI per l'escenari climàtic A2. S'observa un increment de la demanda evaporativa associada a l'augment de temperatura esperat. Els increment

Evapotranspiració potencial (mm)						
	Referència (1984-2008)	Esc.	2006-2030	% Canvi	2076-2100	% Canvi
Fluvià	738.7	B1	763.6	3.4%	836.4	13.2%
		A2	753.0	1.9%	914.7	23.8%
Tordera	815.2	B1	843.3	3.4%	918.3	12.7%
		A2	825.5	1.3%	961.9	18.0%
Siurana	1139.3	B1	1181.0	3.7%	1291.0	13.3%
		A2	1167.3	2.5%	1370.1	20.3%

Taula 44. Estimació de l'evapotranspiració potencial promig de cada període i percentatge de canvi respecte a la referència (1984-2008) per escenari climàtic.

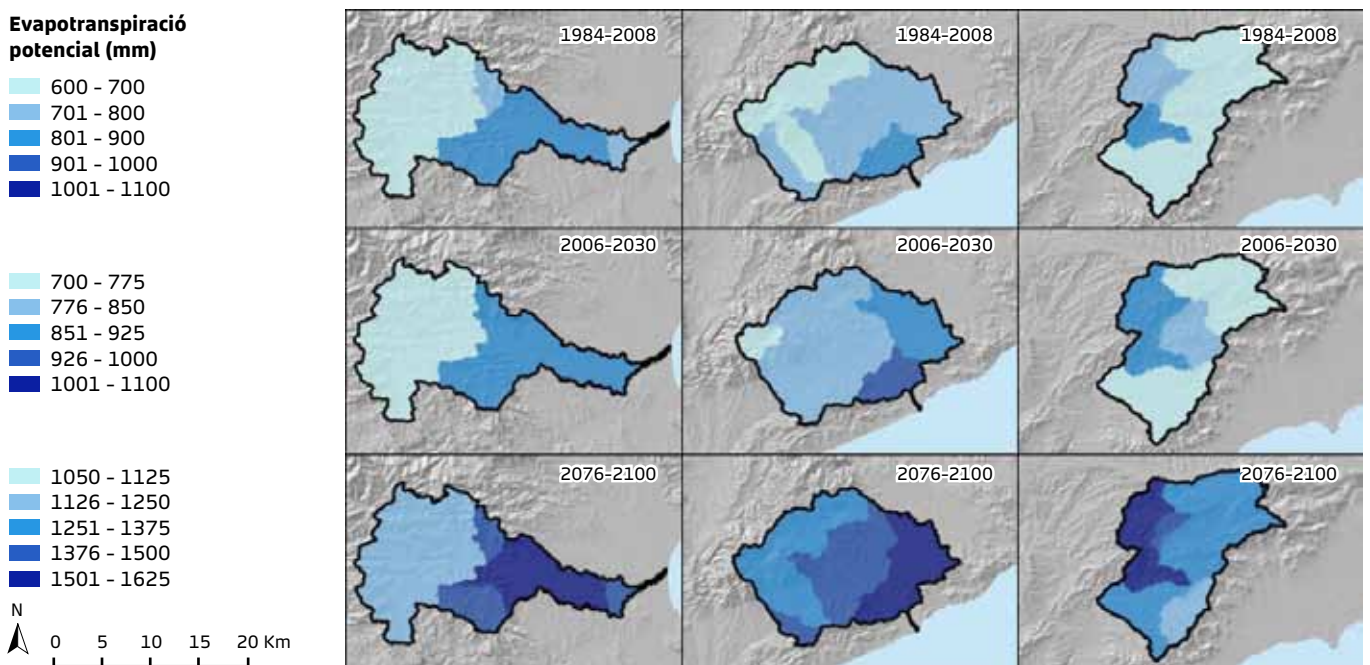


Figura 93. Distribució espacial de l'evapotranspiració potencial (mm) al llarg del segle XXI sota l'escenari climàtic A2.

Índex de dèficit hídric
 $[(P-ETP)/ETP] * 100$

- -100 - -75
- -74 - -50
- -49 - -25
- -24 - 0
- 1 - 25
- 26 - 50
- 51 - 75
- 76 - 150

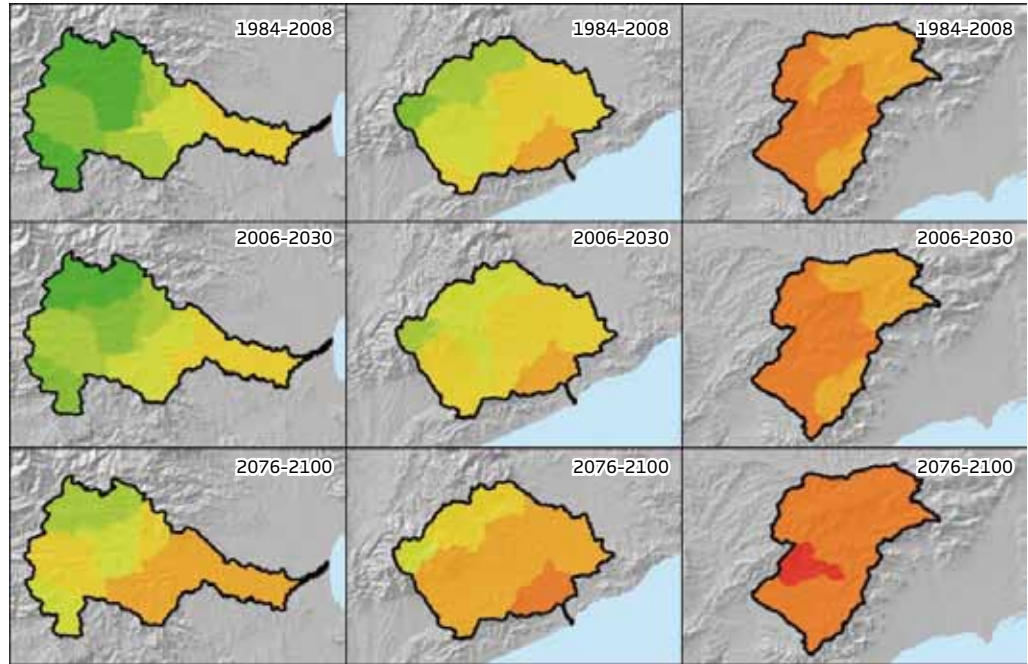


Figura 94. Distribució espacial de l'índex de dèficit hídric al llarg del segle XXI sota l'escenari climàtic A2. Valors negatius indiquen dèficit hídric i valors hídrics disponibilitat d'aigua per satisfer les demandes evaporatives.

més elevats s'observen a les parts baixes de les conques. Per l'escenari climàtic B1, els increments oscil·len entre 12 i 13 % a llarg termini mentre que a l'A2 els increments arriben gairebé al 24%.

L'índex de dèficit hídric mostra que, a finals de segle, la major part de la superfície de les tres conques tindrà limitacions en l'aigua disponible per satisfer la demanda evaporativa potencial

Evapotranspiració real (mm)

- 245 - 300
- 301 - 355
- 356 - 410
- 411 - 465
- 466 - 520

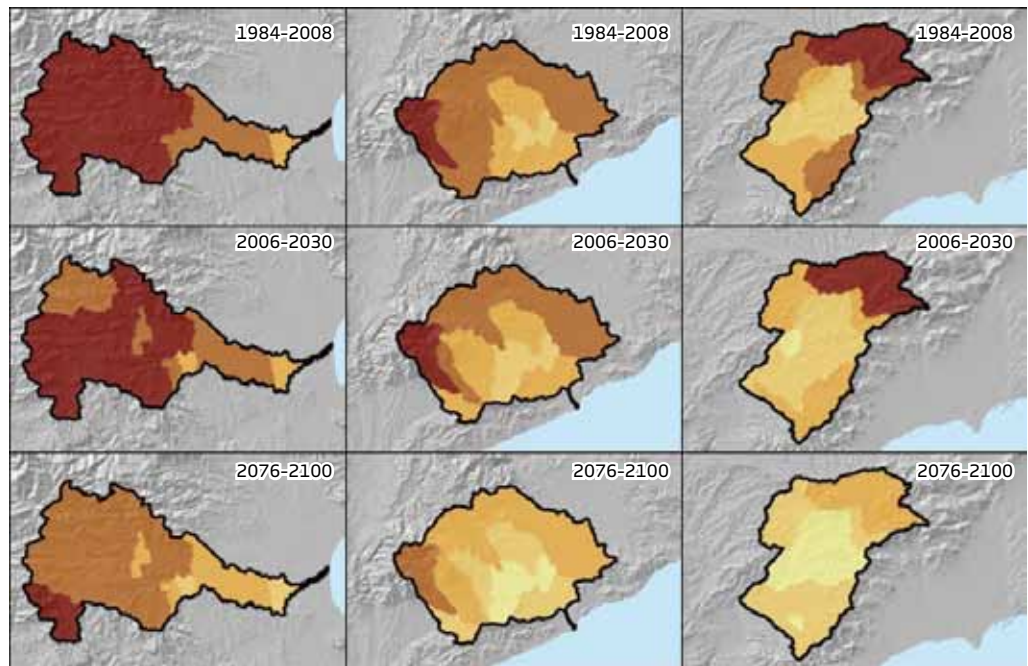


Figura 95. Distribució espacial de l'índex de dèficit hídric al llarg del segle XXI sota l'escenari climàtic A2. Valors negatius indiquen dèficit hídric i valors hídrics disponibilitat d'aigua per satisfer les demandes evaporatives.

(valors negatius de l'índex). La conca on hi haurà més limitacions serà el Siurana (Figura 94).

Pel que fa a l'evapotranspiració real, les davallades més importants s'esperen a la conca del Siurana a finals de segle (Taula 45). La Figura 95 mostra el valors d'ETr promig per subconca, estimada en funció de les cobertes existents.

Evapotranspiració real (mm)						
	Referència (1984-2008)	Esc.	2006-2030	% Canvi	2076-2100	% Canvi
Fluvià	471.2	B1	462.6	-1.8%	410.8	-12.8%
		A2	456.5	-3.1%	406.4	-13.8%
Tordera	415.5	B1	397.9	-4.2%	362.0	-12.9%
		A2	396.6	-4.6%	336.8	-19.0%
Siurana	382.3	B1	355.6	-7.0%	324.4	-15.1%
		A2	364.1	-4.8%	303.9	-20.5%

Taula 45. Estimació de l'evapotranspiració real promig de cada període i percentatge de canvi respecte a la referència (1984-2008) per escenari climàtic.

L'índex de precipitació estandaritzat (SPI) que estima la sequera meteorològica mostra una tendència a augmentar la freqüència de les sequeres extremes a finals de segle a les tres conques per l'escenari climàtic més sever (A2).

3.1.4.2. Regionalització estadística de la UPC

La Taula 46 resumeix els principals canvis registrats en precipitació i temperatura a les conques d'estudi per les projeccions climàtiques generades amb la regionalització estadística de l'UPC i els 2 escenaris utilitzats. Els resultats s'han agrupat en tres horitzons temporals: el període de referència, 1984-2008, que s'utilitza com a baseline per analitzar els canvis; (2) el curt termini (2006-2030) i el llarg termini (2076-2100). Les projeccions climàtiques estimen una reducció de la precipitació entre el 13 % (per l'escenari B1) i el 17 % (escenari A2) i un increment de la temperatura entre 0.9 °C (B1) i 3.5°C (A2) a mitjans del segle XXI (2050).

Índex de precipitació estandaritzat (SPI)

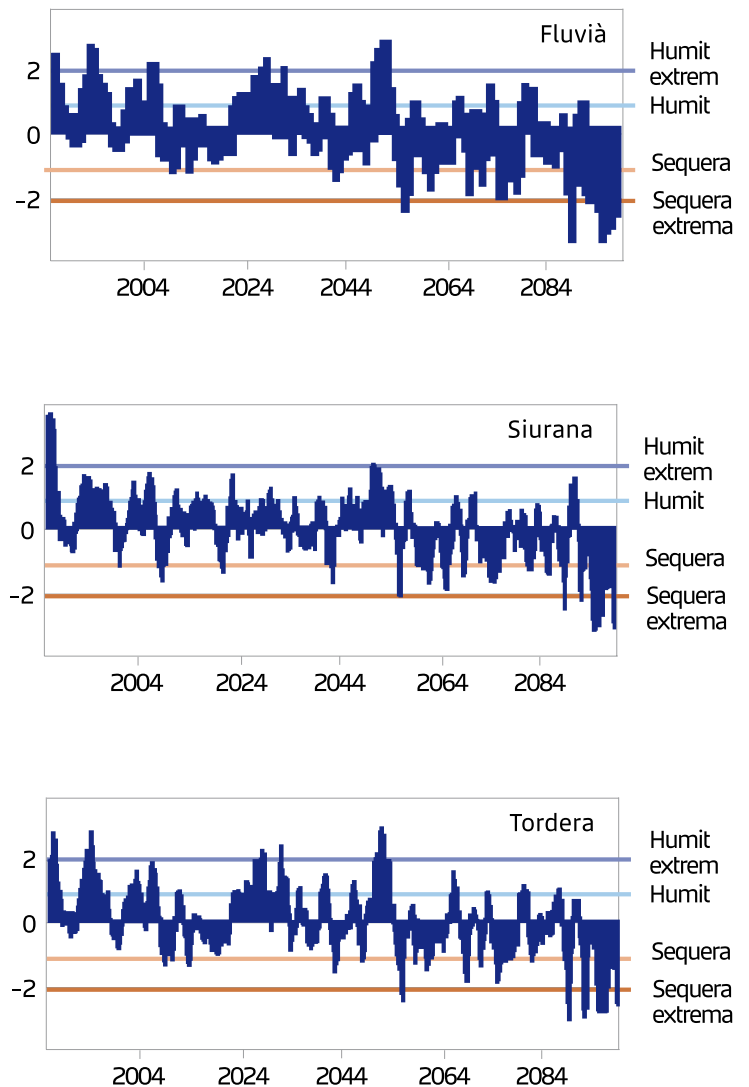


Figura 96. Evolució del SPI a les tres conques d'estudi pel segle XXI per l'escenari A2. Valors de SPI superiors/inferiors a +1,5/-1,5 indiquen un període humit/sec, i valors superiors a +2,0/-2,0 un període extremadament humit/sec

Referència 1984-2008			Esc.	2000-2025	Canvi	2026-2050	Canvi	
Fluvià	Precipitació mitjana (mm)	1013.4		905.1	-10.7%	934.6	-7.8%	
	Temperatura màxima (°C)	19.3	B1	19.8	0.5 °C	20.3	1.0 °C	
	Temperatura mínima (°C)	6.9		7.4	0.5 °C	7.9	1.0 °C	
Tordera	Precipitació mitjana (mm)	776.1		884.3	-12.7%	844.4	-16.7%	
	Temperatura màxima (°C)	20.3	A2	19.8	0.4 °C	20.7	1.3 °C	
	Temperatura mínima (°C)	8.2		7.3	0.5 °C	8.2	1.4 °C	
Siurana	Precipitació mitjana (mm)	564.6		717.8	-7.5%	755.8	-2.6%	
	Temperatura màxima (°C)	19.2	B1	21.0	0.7 °C	21.5	1.2 °C	
	Temperatura mínima (°C)	8.1		8.6	0.4 °C	9.1	0.9 °C	
				Prec	700.4	-9.8%	674.5	-13.1%
				Temp màx	21.0	0.6 °C	21.8	1.5 °C
				Temp min	8.5	0.4 °C	9.4	1.2 °C
			Prec	492.6	-12.8%	503.1	-10.9%	
			Temp màx	21.2	2.0 °C	21.9	2.8 °C	
			Temp min	10.4	2.3 °C	11.2	3.1 °C	
			Prec	487.0	-13.7%	467.2	-17.25%	
			Temp màx	21.1	1.9 °C	22.4	3.2 °C	
			Temp min	10.4	2.2 °C	11.7	3.5 °C	

Taula 46. Precipitació anual mitjana i temperatura màxima i mínima per període i canvis produïts en % de reducció de pluja i increment en graus de temperatura.

3.2. Com serà el territori?

Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.
 Javier Retana, Jaume Terradas. CREA
 Roger Milego, Jaume Fons, Ana Luisa Barbosa. ETC-LUSI

3.2.1. Escenaris socioeconòmics globals

Per avaluar els efectes del canvi global en la disponibilitat d'aigua cal, a més de considerar els canvis climàtics futurs, analitzar els efectes dels canvis socioeconòmics que incorporen el creixement demogràfic i urbà, la gestió del territori, l'ús de l'aigua i l'energia, ... Així, s'han elaborat una sèrie d'alternatives versemblants d'opcions futures de desenvolupament socioeconòmic (*narrative storylines*) per crear, segons aquests arguments, un conjunt d'informació quantitativa, internament coherent i espacialment explícita d'escenaris del clima futur i d'usos del sòl a les conques d'estudi.

Aquests escenaris aportaran diferents punts de vista sobre el futur de les conques d'estudi mitjançant l'exploració del que podria succeir

donats certs supòsits sobre el desenvolupament de la societat i els canvis ambientals. Molts organismes internacionals fan ús d'escenaris que els ajuden a planificar un futur incert. S'han pres de referència escenaris disponibles a escala global i regional més propers al litoral mediterrani i s'han aterrat a escala catalana i, d'aquí, a escala de les conques d'estudi. Els principals antecedents emprats en aquest disseny han estat:

- Escenaris d'emissions de gasos amb efectes hivernacle proposats pel Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (IPCC), impulsat pel PNUMA i el WMO (www.ipcc.ch)
- Escenaris de la Tercera Perspectiva del Medi Ambient Mundial (GEO-3), proposats pel PNUMA (www.unep.org/GEO/geo3)
- Escenaris 2030 de l'Organització per a la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic (OCDE) proposat en la seva Perspectiva del Medi Ambient (<http://www.oecd.org>)
- Escenaris de l'Avaluació dels Ecosistemes Mil·lenni (MA), proposats en aquesta convenció internacional promoguda per les Nacions Unides (<http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>)

- ALARM scenaris, proposats en el marc del projecte de recerca integrat europeu ALARM (www.alarmproject.net/alarm/)
- PRELUDE scenaris, desenvolupats per l'Agència Europea del Medi Ambient, amb un enfocament molt territorial www.eea.europa.eu/multimedia/interactive/prelude-scenarios
- ESPON scenaris, proposats en el marc del projecte ESPON (www.espon.eu)

3.2.2. Definició d'escenaris socioeconòmics: sostenible i tendencial

L'horitzó temporal per la definició dels escenaris ha estat el 2030, una data suficientment

propera com per fer una projecció factible futura però suficientment llunyana com per avaluar els efectes del tipus de desenvolupament humà en la vulnerabilitat dels sistemes. S'han definit dues alternatives possibles i contrastades per al territori:

- Perspectiva **tendencial**, consistent en projectar cap al futur els canvis que han viscut aquestes conques en les darreres dècades.
- Perspectiva **sostenible**, que incorporaria estratègies de gestió encaminades a moderar els efectes del canvi global (adaptació).

Les principals característiques de cada escenari l'any 2030 a nivell de Catalunya i a nivell de conques resumeix a la Taula 47:

TENDENCIAL	SOSTENIBLE
Context socioeconòmic general	Context socioeconòmic general
<ul style="list-style-type: none"> - Creixement econòmic elevat (PIB). - Creixement demogràfic mig-alt. - Ús intensiu de combustibles fòssils. - Ús intensiu d'aigua - Economies globalitzades i reducció del teixit de petita i mitjana empresa. - Economia basada en el creixement urbanístic i el sector serveis. - Reducció de la despesa pública. Avenç en la liberalització i privatització d'alguns serveis públics. - Creixement del pressupost en I+D - Poca sensibilitat ambiental. Les intervencions se centren a fer front als impactes produïts. - Creixement important de la dispersió poblacional, en zones allunyades dels nuclis urbans i urbanitzacions. - Noves xarxes de transport intentant vertebrar tot el territori català. - Reducció de la superfície agrícola. Intensificació/industrialització de l'agricultura en determinats (pocs) sectors rendibles. - Reducció de les subvencions de la PAC. S'atura el suport al desenvolupament rural. - Augment espontani de la superfície forestal (absència de gestió). - Creixement de la superfície industrial i urbana. - Promoció del turisme de massa. - Gestió dels recursos a curt termini. 	<ul style="list-style-type: none"> - Creixement econòmic moderat. - Augment demogràfic moderat. - Moderació en la despesa energètica. Descentralització de la producció energètica i potenciació de noves energies renovables. - Economies locals i enfortiment del teixit de petita i mitjana empresa. - Desenvolupament econòmic sostenible. Economia basada en la producció i transformació de béns lligats al desenvolupament local. Potenciació de la recerca i dels nous filons d'ocupació. Frenada de l'economia basada en el creixement urbanístic. - Elevada sensibilitat ambiental. Les intervencions se centren a mitigar els futurs efectes en el canvi de les condicions ambientals. - S'afavoreix el desenvolupament de les ciutats mitjanes amb potencial de creixement contemplat al Pla Territorial Parcial. - Noves xarxes de transport vertebrant els nodes territorials potenciat. S'evita una discriminació territorial. - Manteniment del paisatge agroforestal. Suport al desenvolupament rural. - Conversió a una nova cultura agrícola respectuosa amb el medi ambient i el consum d'aigua. Potenciació de l'agricultura ecològica. - Augment espontani de la superfície forestal però de la mà de la gestió i l'explotació de recursos forestals.. - Agrupació i compactació de la superfície urbana i industrial. - Promoció del turisme de qualitat i ambiental. - Gestió dels recursos a llarg termini. - Solucions a nivell local i regional amb una societat equilibrada.

TENDENCIAL	SOSTENIBLE
Impactes a nivell de conca	
El Fluvià	
<p><i>Impactes socioeconòmics</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Increment de la població als pobles costaners vinculats al turisme i a les segones residències. Però també en altres indrets, fomentant la dispersió de la població lluny dels nuclis històrics i en urbanitzacions. Aquest darrer molt subjecte a la recent inauguració del túnel de Bracons. - Augment de les zones inundables urbanitzades per un augment de la magnitud dels episodis. - Reducció de l'activitat agrícola, a la capçalera es dona un augment tant de la superfície forestal com urbana, i a la zona litoral un increment de les urbanitzacions i infraestructures vinculades a la població estacional. <p><i>Impactes ambientals</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Els aiguamolls podrien entrar en declivi tant per la davallada de les aportacions hidríques i el retrocés de la costa per un augment del nivell del mar. - Increment generalitzat dels aprofitaments dels recursos hídrics. - Cert retrocés de la superfície dels boscos caducifolis de condicions humides. - Algunes zones forestals de la conca serien sensibles a patir incendis forestals per un augment de la massa forestal i unes condicions ambientals més àrides. 	<p><i>Impactes socioeconòmics</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Manteniment de la població fixa i estacional als pobles costaners com Sant Pere Pescador i Castelló d'Empúries. - Creixements moderats concentrats en zones de desenvolupament potenciat, segons preveu el Pla Territorial Parcial - Reestructuració urbanística vinculada al turisme al tram baix. Evitar la vulnerabilitat de la zona per unes condicions ambientals adverses (reducció de les precipitacions, augment del nivell del mar...). - Reordenació de les zones inundables urbanitzades donant lloc a una urbanització més endreçada als trams mig i baix del curs fluvial. <p><i>Impactes ambientals</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Es vetllarà per unes polítiques ambientals per a la subsistència dels aiguamolls tot i la davallada prevista de precipitació i el cert augment del nivell del mar. - Explotació controlada dels recursos a nivell local. S'intentarà evitar una salinització dels aqüífers i recuperar-ne aquells malmesos. - Millora generalitzada de la qualitat de l'aigua del riu. - Cert retrocés de la superfície dels boscos caducifolis de condicions humides. - Les zones forestals de la conca esdevindrien sensibles a patir incendis forestals per un augment de la massa forestal i unes condicions ambientals més àrides. Emperò s'intentaria evitar els grans incendis portant a terme una gestió adequada dels boscos.
La Tordera	
<p><i>Impactes socioeconòmics</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Augment de la pressió urbanística vinculada al turisme al tram mig i baix. - Es dispara la població de municipis a cavall del món rural i els punts d'atracció turística, incloent la ciutat de Barcelona: Sant Celoni, Tordera, Palafròls, Caldes de Malavella. - Desaparició de l'activitat agrícola, a la capçalera es dona un augment tant de la superfície forestal com industrial-urbana, i a la zona litoral un increment de la superfície urbana. - Concentració de l'agricultura intensiva al prelitoral amb un elevat consum d'aigua. - Augment de l'explotació de les empreses envasadores d'aigua de la conca. - Intensificació dels vivers i plantacions en les zones més adequades de la conca. - Aparició de noves indústries i activitats secundàries vinculades a un creixement de la població del prelitoral català. - L'ampliació de la planta dessalinitzadora de la Tordera a Blanes promourà l'expansió urbanística i industrial. - Augment de les zones inundables urbanitzades tant per un augment de la magnitud dels episodis. <p><i>Impactes ambientals</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Increment generalitzat dels aprofitaments dels recursos hídrics. - Possible sobreexplotació dels aqüífers per part de les plantes envasadores. - Algunes zones forestals de la conca podrien esdevenir sensibles a patir incendis forestals per un augment de la massa forestal i unes condicions ambientals més àrides. - Cert retrocés de la superfície dels boscos caducifolis de condicions humides al Montseny. 	<p><i>Impactes socioeconòmics</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Reestructuració urbanística vinculada al turisme al tram baix. Evitar la vulnerabilitat de la zona per unes condicions ambientals adverses (reducció de les precipitacions, augment del nivell del mar...). - Increment moderat de la població als municipis on es permet un creixement, segons el Pla Territorial Parcial. - Certa reducció de l'activitat agrícola a la capçalera donant lloc a un augment de la superfície forestal. - L'ampliació de la planta dessalinitzadora de la Tordera a Blanes promourà la recuperació de sistemes ecològics i aqüífers. Les noves polítiques ambientals evitaran un consum irresponsable de l'aigua dessalada. - Reordenació de les zones inundables urbanitzades donant lloc a una urbanització més endreçada als trams mig i baix del curs fluvial. <p><i>Impactes ambientals</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Explotació controlada dels recursos a nivell local. S'intentarà evitar una salinització dels aqüífers i recuperar-ne aquells malmesos. - Millora generalitzada de la qualitat de l'aigua del riu. - Moderació en l'explotació dels aqüífers per part de les empreses envasadores d'aigua. - Cert retrocés de la superfície dels boscos caducifolis de condicions humides. - Les zones forestals de la conca esdevindrien sensibles a patir incendis forestals per un augment de la massa forestal i unes condicions ambientals més àrides. Emperò s'intentaria evitar els grans incendis portant a terme una bona gestió dels boscos. - Recuperació dels aqüífers del delta de la Tordera gràcies a l'aigua subministrada per la planta dessalinitzadora.

TENDENCIAL**SOSTENIBLE****El Siurana***Impactes socioeconòmics*

- Cert augment de la població vinculat a una certa expansió urbanística i industrial tecnificada vinculada al sector agrícola. Increment molt notable en pobles dinamitzadors de la conca.
- Desenvolupament econòmic considerable de la comarca del Priorat.
- Reducció de les àrees de conreu tradicionals per unes noves condicions climàtiques més àrides.
- Tendència al monocultiu dirigit per unes poques empreses especialitzades. Potenciació del vi i oli selecte. Pot haver-hi una certa aparició de polígons industrials enfocats a la indústria agroalimentària.
- Els productes dels cultius seran molt cars per l'alt cost del seu manteniment. Per exemple, es requeriran tècniques agrícoles molt avançades per poder evitar que augmenti el grau alcohòlic dels vins i suavitzar els olis.
- Manteniment del sector turístic vinculat a la cultura del vi i oli, tot i l'enduriment de les condicions climàtiques.

Impactes ambientals

- Desaparició de certs boscos que es troben en l'actualitat en el llinar de la subsistència. En canvi, hi haurà una expansió de la superfície de matollars tant per la desaparició de boscos com per l'abandonament de camps de conreu.
- La massa forestal podria esdevenir sensible a patir incendis forestals per un augment de la superfície de matollar i unes condicions ambientals més àrides.
- L'ecosistema que sustenta el riu Siurana podria veure's perjudicat per les condicions ambientals futures, tot i l'augment previst de cabal alliberat des de l'embassament de Siurana (reducció de la derivació a Riudecanyes).
- Les noves indústries i l'augment de població incrementaran la demanda d'aigua, un recurs que serà encara més disputat a la conca.
- Les avingudes serien més catastròfiques en haver-hi una major superfície de sòl nu o poc poblat de vegetació.
- En general, la conca entraria en un lleuger procés de desertització. Les mesures ambientals que es poden emprendre són insuficients per evitar el procés.
- L'aigua esdevindrà un bé encara més escàs tant per les noves condicions ambientals més seques com per la certa expansió urbanística i industrial.
- L'agricultura, tot i en retrocés de la seva extensió, augmentarà la seva demanda davant la generalització del reg de suport.

Impactes socioeconòmics

- Manteniment de la superfície urbana i cert rejuveniment de la població per l'arribada de certa població urbana.
- Adaptació i reconversió de l'agricultura a unes noves condicions climàtiques. Cert abandonament de l'agricultura tradicional.
- Manteniment del turisme rural de qualitat vinculat a la gastronomia i agricultura de la conca.
- Població jove i dinamitzadora ocupada en noves activitats econòmiques a la comarca del Priorat, vinculades a l'elaboració de vins i olis selectes.
- Increment de l'economia de la comarca basada en l'exportació de productes agrícoles de qualitat.
- Implantació d'una indústria especialitzada i altament tecnificada per mantenir un vi i oli de qualitat. Evitar l'increment del grau alcohòlic del vi i suavització de l'oli en unes condicions climàtiques més adverses.

Impactes ambientals

- Certs boscos que es troben en l'actualitat en el llinar de la subsistència podrien arribar a desaparèixer en unes condicions climàtiques més àrides.
- Hi haurà una expansió de la superfície de matollars tant per la desaparició de boscos com per l'abandonament de camps de conreu tradicionals.
- La massa forestal podria esdevenir sensible a patir incendis forestals per un augment de la superfície de matollar i unes condicions ambientals més àrides. Emperò s'intentaria evitar els grans incendis portant a terme una bona gestió dels boscos.
- L'ecosistema que sustenta el riu Siurana podria veure's perjudicat per les condicions ambientals futures. Tot i amb això, es preveu un major alliberament de cabal de l'embassament de Siurana (per reducció parcial i fins i tot total de la derivació a Riudecanyes), que podria suplir parcialment l'augment de pèrdues i d'usos.
- En general, la conca entraria en un lleuger procés de desertització. Les mesures ambientals que es poden emprendre poden pal·liar només parcialment el procés.

Aquestes perspectives s'han basat en diferents treballs previs de referència que han permès quantificar els escenaris: projeccions demogràfiques de l'IDESCAT, planejament territorial parcial previst del DPTOP, planificació hidrològica de l'ACA, pla de regadius del DAR i altre planejament sectorial previst. Aquesta informació ha estat la base per estimar:

- Les demandes d'aigua dels diferents sectors socioeconòmics el 2030.
- Els usos del sòl al 2030 a partir d'un programari específic (Land Change Modeller)

permet generar, a partir d'unes suposicions inicials de canvi, cartografia d'usos del sòl per al període desitjat.

3.2.3. Generació de mapes d'usos de sòl futurs (metodologia)

La tasca de modelització de les cobertes del sòl per l'any 2030 a partir dels canvis entre 1993 i 2000 s'ha dut a terme amb el model LCM (Land Change Modeller), utilitzant el programari IDRISI Taiga.

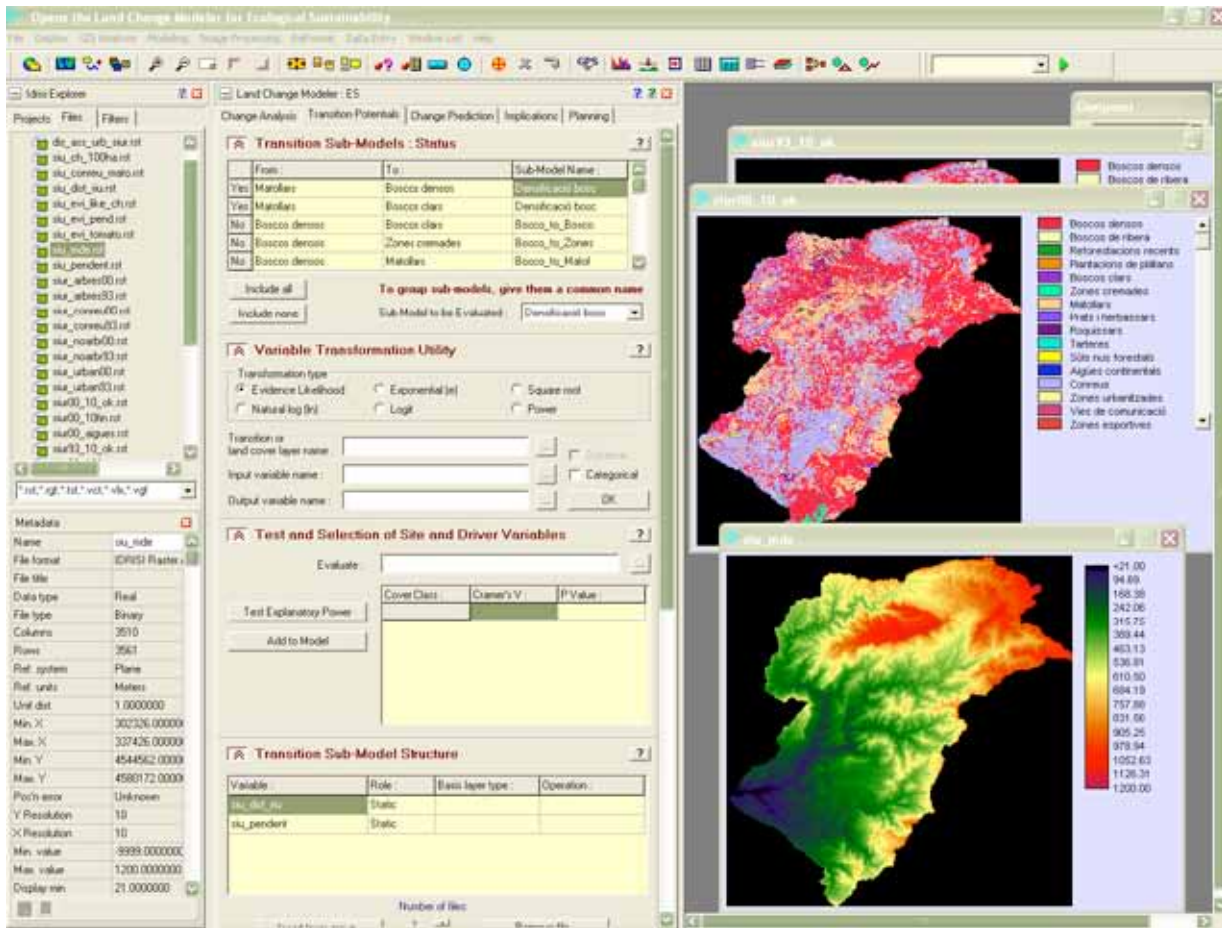
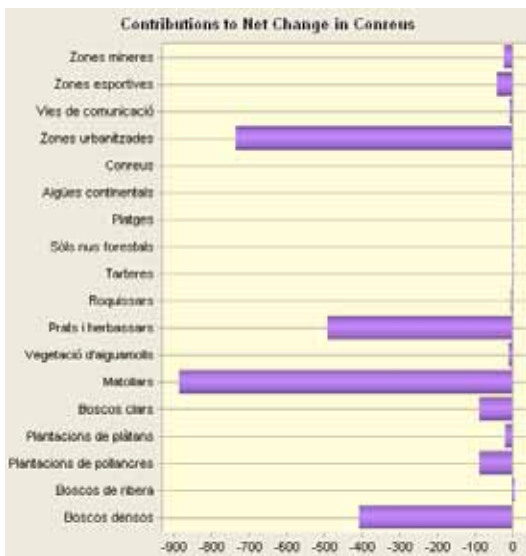
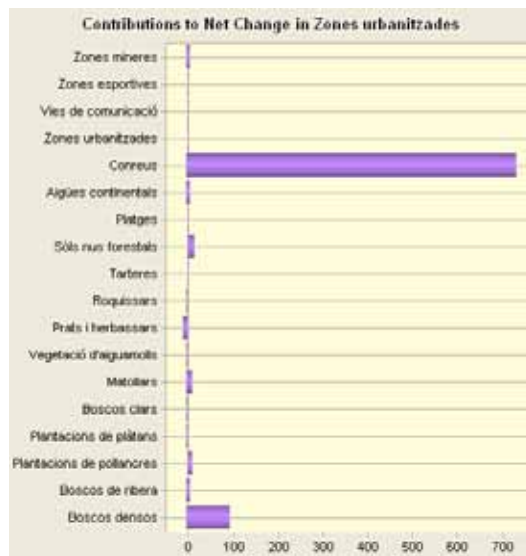


Figura 97. Captura de pantalla del programari utilitzat: Land Change Modeller en Idrisi Taiga

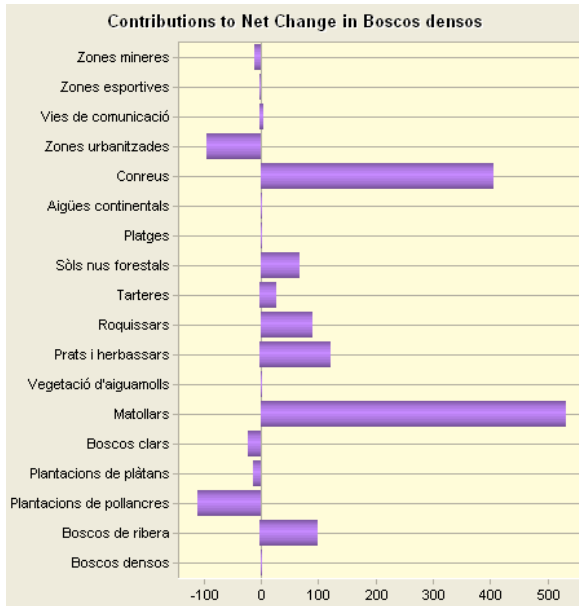
A partir d'una primera anàlisi dels canvis entre 1993 i 2000, s'han assenyalat les principals tendències per a cadascuna de les tres conques, que són les següents:



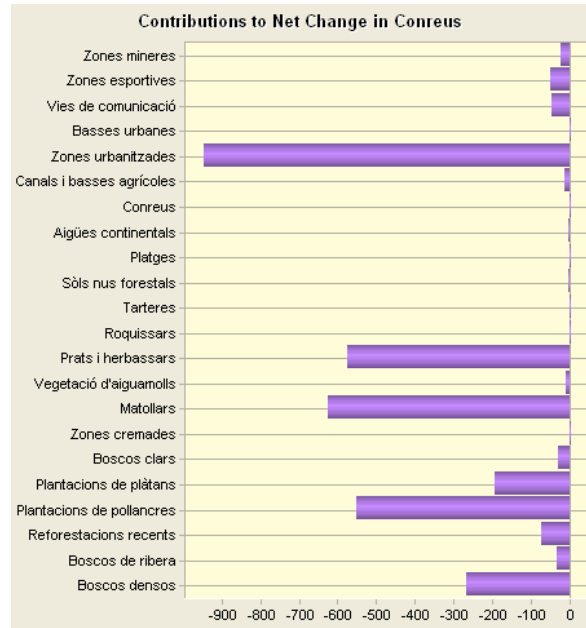
Fluvià
Pèrdua de conreus



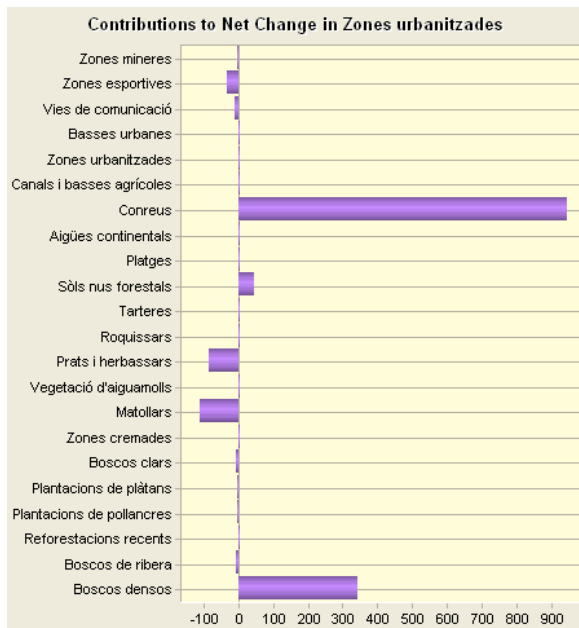
Fluvià
Increment de la superfície urbana



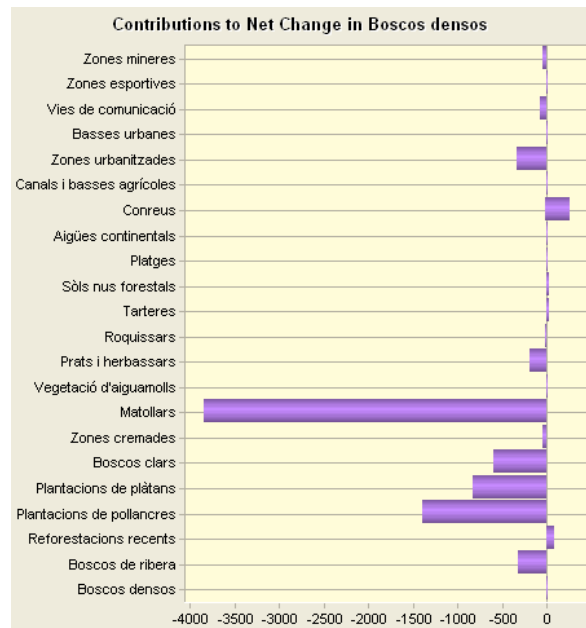
Fluvià
Aforestació



Tordera
Pèrdua de conreus



Tordera
Variació de la superfície urbana



Tordera
Canvis forestals

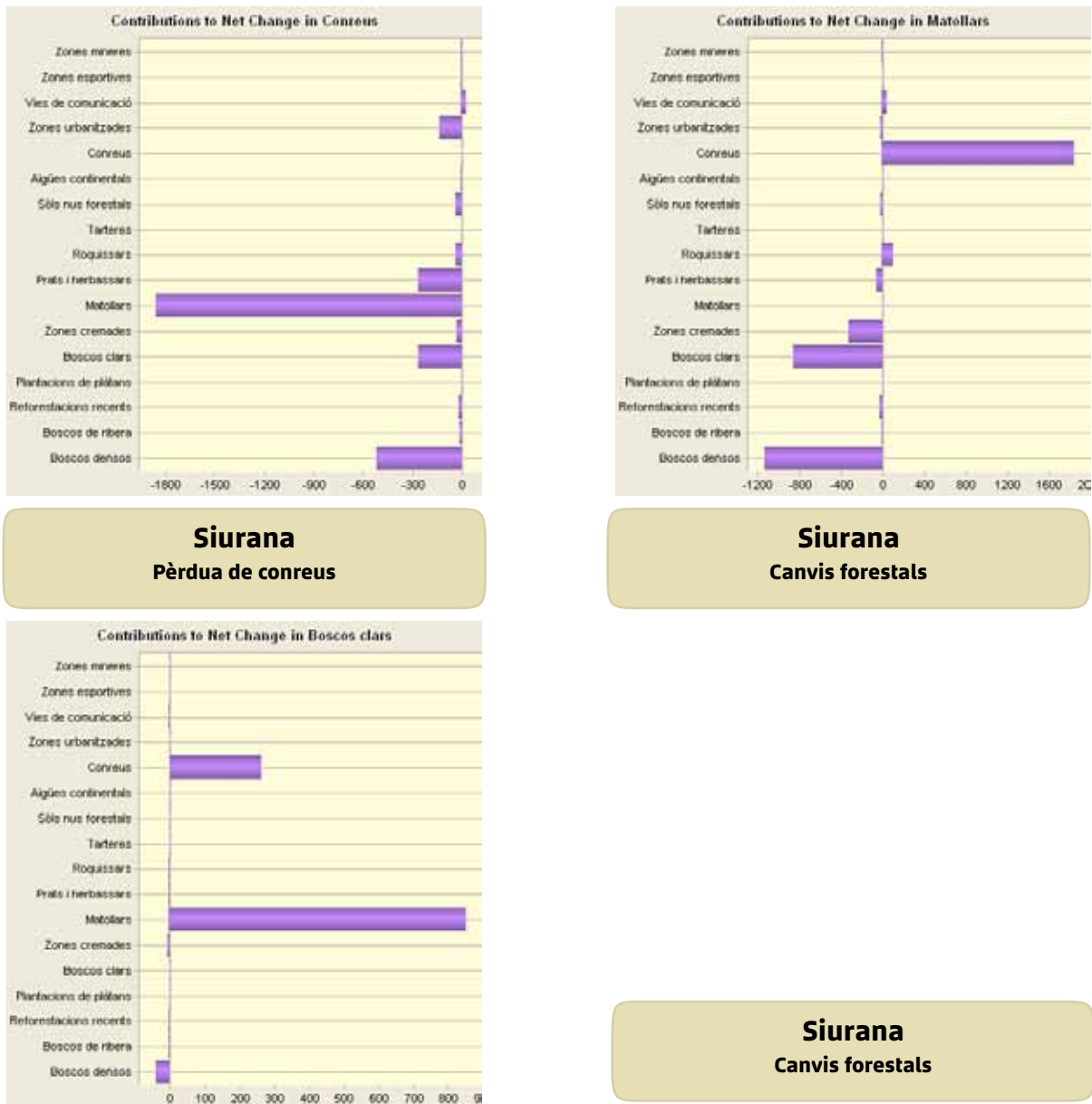


Figura 98. Canvis principals observades entre les cobertes de 1993 i 2000

Un cop vist analitzats els canvis actuals, s'ha treballat amb un bon nombre de variables diferents, per intentar correlacionar aquestes variables amb els processos de canvi d'usos observats. Les variables estudiades han estat:

RELATIVES A COBERTES DE SÒL

- Mapa de cobertes 1993
- Mapa de cobertes 2000
- Mapa de cobertes 2005
- Zona urbana 1993
- Zona urbana 2000
- Conreus 1993
- Conreus 2000
- Vegetació natural arbrada 1993
- Vegetació natural arbrada 2000
- Vegetació natural no arbrada 1993
- Vegetació natural no arbrada 2000
- Aigües continentals

VARIABLES BIOFÍSQUES

- MDE
- Pendents
- Pendent baix
- Elevació alta
- Perill elevat i molt elevat d'incendi
- Distància als rius

VARIABLES SOCIOECONÒMIQUES

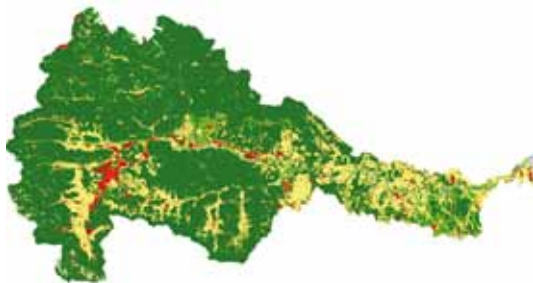
- Rendiment econòmic
- Distància a les carreteres
- Distància als ferrocarrils

Figura 99. Conjunt de variables estudiades en el LCM per a la predicció de canvis futurs

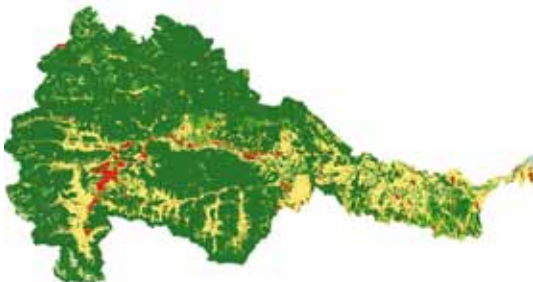
3.2.4. Anàlisi de mapes futurs d'usos de sòl

Malgrat els esforços per tal d'aconseguir modelitzacions precises de les cobertes del sòl per l'any 2030, els resultats finals no han estat els esperats i convé remarcar que el model presenta molts problemes a l'hora de treballar amb els mapes de cobertes i les variables de què disposàvem. S'ha optat finalment per crear uns escenaris de cobertes del sòl (tendencial i sostenible) per al 2030, per a cadascuna de les conques, basats en les tendències observades a partir del passat, les estimacions del planejament (Plans Territorials) sobre creixement demogràfic i els espais protegits.

Els resultats en forma de mapes es mostren a continuació:



Fluvià 2030. Escenari tendencial



Fluvià 2030. Escenari sostenible

Llegenda

- | | | | |
|--------------------|------------------|---------|------|
| Boscos | Matollars | Platges | Urbà |
| Vegetació ribera | Prats i sòls nus | Aigües | |
| Plantacions arbres | Roques | Conreus | |



Tordera 2030. Escenari tendencial



Tordera 2030. Escenari sostenible

Llegenda

- | | | | |
|--------------------|------------------|---------|------|
| Boscos | Matollars | Platges | Urbà |
| Vegetació ribera | Prats i sòls nus | Aigües | |
| Plantacions arbres | Roques | Conreus | |



Siurana 2030. Escenari tendencial



Siurana 2030. Escenari sostenible

Llegenda

- | | | | |
|--------------------|------------------|---------|------|
| Boscos | Matollars | Platges | Urbà |
| Vegetació ribera | Prats i sòls nus | Aigües | |
| Plantacions arbres | Roques | Conreus | |

Figura 100. Escenaris de cobertes del sòl per conca l'any 2030.

La Taula 48 mostra els resultats de manera numèrica. Els percentatges de canvi de cobertura es refereixen a increments o disminucions respecte de la superfície ocupada per aquesta cobertura l'any 2005, és a dir, mostra els canvis relatius.

	Coberta	Sup. (ha) 2005	Sup. (ha) 2030 Tendencial	% 2005-2030 Tendencial	Sup. (ha) 2030 Sostenible	% 2005-2030 Sostenible
FLUVIÀ	Bosc	65486	69306	6%	68256	4%
	Vegetació ribera	55	55	0%	55	0%
	Plantacions arbres	1964	1964	0%	1964	0%
	Matollars	4506	3473	-23%	3473	-23%
	Prats i sòls nus	3009	1862	-38%	3262	8%
	Roques	411	411	0%	411	0%
	Platges	35	35	0%	35	0%
	Aigües	295	295	0%	295	0%
	Conreus	18699	16537	-12%	16582	-11%
	Urbà i associat	2860	3381	18%	2987	4%
TORDERA	Bosc	58252	57072	-2%	58255	0%
	Vegetació ribera	688	688	0%	688	0%
	Plantacions arbres	3143	3143	0%	3143	0%
	Matollars	7639	7951	4%	7639	0%
	Prats i sòls nus	1442	1865	29%	1865	29%
	Roques	342	342	0%	342	0%
	Platges	1	1	0%	1	0%
	Aigües	44	44	0%	44	0%
	Conreus	9849	8862	-10%	9156	-7%
	Urbà i associat	5053	6486	28%	5321	5%
SIURANA	Bosc	26742	24131	-10%	24122	-10%
	Vegetació ribera	246	246	0%	246	0%
	Plantacions arbres	3	3	0%	3	0%
	Matollars	16062	19393	21%	18784	17%
	Prats i sòls nus	966	1295	34%	985	2%
	Roques	1257	1256	0%	1257	0%
	Platges	100	100	0%	100	0%
	Aigües	15503	14451	-7%	15373	-1%
	Conreus	549	555	1%	559	2%
	Urbà i associat	26742	24131	-10%	24122	-10%

Taula 48. Superfície ocupada per cada tipus de Roberta dins la conca al 2005 i 2030. Percentatge de canvi relatiu respecte al 2005.

Si aquests canvis s'analitzen de forma absoluta respecte al total de la conca, s'observen que els canvis de cobertura són menys rellevants. Els canvis més importants observats han estat el creixement del bosc al Fluvià (4%) i el creixement del matollar al Siurana (5 i 4%) a causa de la pèrdua de bosc.

	Coberta	Sup. (ha) 2005	Sup. (ha) 2030 Tendencial	% 2005-2030 Tendencial	Sup. (ha) 2030 Sostenible	% 2005-2030 Sostenible
FLUVIÀ	Bosc	65486	69306	4%	68256	4%
	Matollars	4506	3473	-1%	3473	-1%
	Prats i sòls nus	3009	1862	-1%	3262	0%
	Conreus	18699	16537	-2%	16582	-3%
	Urbà i associat	2860	3381	1%	2987	0%

	Coberta	Sup. (ha) 2005	Sup. (ha) 2030 Tendencial	% 2005-2030 Tendencial	Sup. (ha) 2030 Sostenible	% 2005-2030 Sostenible
TORDERA	Bosc	58252	57072	-1%	58255	0%
	Matollars	7639	7951	0%	7639	0%
	Prats i sòls nus	1442	1865	0%	1865	0%
	Conreus	9849	8862	-1%	9156	-1%
	Urbà i associat	5053	6486	2%	5321	0%
SIURANA	Bosc	26742	24131	-4%	24122	-4%
	Matollars	16062	19393	5%	18784	4%
	Prats i sòls nus	966	1295	1%	985	0%
	Conreus	15503	14451	-2%	15373	0%
	Urbà i associat	549	555	0%	559	0%

Taula 49. Superfície ocupada per cada tipus de coberta dins la conca al 2005 i 2030. Percentatge de canvi relatiu respecte al 2005.

3.2.5. Estimació de creixement poblacional

Per poder conèixer les demandes d'aigua futures, prèviament s'ha estimat la població futura de les conques als dos escenaris socioeconòmics. Aquestes estimacions s'han basat en les projeccions de població 2021-2041 (base 2008) de l'IDESCAT. Aquestes projeccions ofereixen resultats comarcals fins al 2021 i resultats per a Catalunya fins al 2041, prenent com a any base el 2008. Les projeccions contemplen tres escenaris de creixement demogràfic (alt, mitjà i baix) per a cadascun dels components de la projecció: fecunditat, esperança de vida, migració interna, migració amb la resta d'Espanya i migració amb l'estranger.

Segons l'IDESCAT, la població de Catalunya l'any 2021 serà de 8 milions d'habitants, d'acord amb l'evolució de l'escenari mitjà. L'escenari alt preveu una població de 8,5 milions i l'escenari baix de 7,6 milions. Encara que la incertesa a llarg termini sigui molt alta, les projeccions preveuen una població de 8,9 milions d'habitants l'any 2040 (escenari mig), i un ventall molt ampli a les altres escenaris (7,7 milions al baix i 10,1 milions a l'alt).

A nivell comarcal, les projeccions únicament arriben fins al 2021. A partir de la població estimada al 2008 per comarca, s'ha fet una aproximació a la població

Població (habitants)

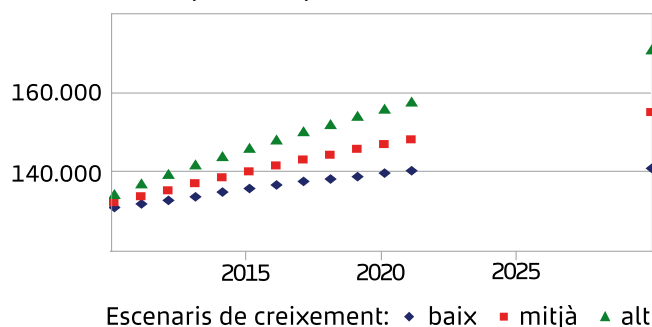


Figura 101. Creixement poblacional a la comarca del Baix Empordà segons l'IDESCAT. El valor al 2030 és estimat.

al 2030 segons el creixement esperat al 2030 a Catalunya. La Figura 101 mostra les projeccions a la comarca del Baix Empordà pels tres escenaris: les dades proporcionades per l'IDESCAT arriben fins al 2021 i el valor al 2030 és l'estimat.

Dels escenaris de l'IDESCAT, s'han seleccionat l'alt i el baix com representants dels escenaris socioeconòmics tendencial i sostenible respectivament. La Taula 50 mostra les estimacions de població al 2030 sota cada escenari distribuïts per conca (es refereix a la població dins de la conca, no al total comarcal). Els increments més elevats es preveuen a la Tordera, entre un 13 i 40 %, mentre que el Fluvià i Siurana s'esperen increments més similars i lleugers (25-26%).

	Comarques	Població 2008	Població 2030 Escenari baix	% canvi	Població 2030 Escenari alt	% canvi
FLUVIÀ	Alt Empordà	4718	5015	6%	6534	38%
	Baix Empordà	73	80	10%	98	34%
	Garrotxa	50923	54063	6%	63681	25%
	Osona	53	58	9%	69	30%
	Pla de l'Estany	2883	3068	6%	3713	29%
	Ripollès	864	876	1%	1028	19%
	Total	59514	63162	6%	75126	26%
TORDERA	Maresme	14732	16368	11%	18947	29%
	Osona	6	6	0%	8	33%
	Selva	63906	72231	13%	94140	47%
	Vallès Oriental	33196	37815	14%	43651	31%
	Total	111841	126421	13%	156747	40%
SIURANA	Baix Camp	850	951	12%	1210	42%
	Conca de Barberà	143	154	8%	185	29%
	Priorat	9753	9694	-1%	12076	24%
	Ribera d'Ebre	393	394	0%	477	21%
	Total	11140	11195	0%	13950	25%

Taula 50. Població dins de les conques al 2008 i al 2030 sota els dos escenaris de l'IDESCAT i percentatge de canvi respecte al 2008.

Una vegada estimada la població futura a nivell comarcal, s'ha distribuït aquesta població pels municipis dins la conca de forma proporcional a l'actual (2008) seguint el criteri:

- Escenari tendencial: La distribució de la població s'ha fet proporcional a la població existent.
- Escenari sostenible: La distribució de la població s'ha fet seguint les directrius del Pla Territorial Parcial. La nova població s'ha distribuït únicament en els municipis amb una estratègia de creixement potenciat, mitjà o moderat. Els creixements més elevats s'han assignat als nuclis urbans potencials, seguits pels mitjans i essent els últims els moderats.

3.2.6. Estimació de les demandes futures d'aigua

Una vegada estimada la població de les conques al 2030, s'ha fet una prognosi de quines seran les demandes d'aigua futures sota els dos escenaris. La metodologia emprada ha estat molt semblant a l'apartat 2.2.3. *Estimació dels usos de l'aigua actuals*. Les estimacions s'han basat en la prognosi de les demandes d'aigua de l'ACA pel Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya (PGDCFC).

A partir d'aquestes dades, s'ha fet una estimació dels usos d'aigua de cada conca en funció de l'origen:

- **Ús urbà:** A l'apartat anterior s'ha explicat la metodologia per estimar la població dins la conca l'any 2030 per cada escenari socioeconòmic. La demanda d'aigua d'ús urbà s'ha estimat com producte de la població estimada a la conca i la dotació urbana equivalent municipal en alta (lpd) al 2030. La dotació urbana l'any 2030 s'ha extret de la prognosi del PGDCFC que proposa dos escenaris d'estalvi possible per al 2015 i 2027 (estalvi alt i estalvi mig). L'ACA (2010) fa una prognosi de demanda i dotació futura d'aigua per comarca pels dos escenaris d'estalvi. En aquest projecte, s'han fet servir els dotacions de l'escenari d'estalvi alt de l'ACA per estimar les demandes de l'escenari sostenible al 2030. Per l'escenari tendencial, s'han mantingut les dotacions actuals.
- **Ús industrial:** La prognosi del PGDCFC preveu al 2027 l'estabilitat del consum d'aigua a les indústries envasadores i l'estalvi en un 3.6% de la resta d'indústries. Les demandes futures s'han obtingut aplicant aquest estalvi en la demanda en el cas de l'escenari sostenible i mantenint les demandes actuals en el cas del tendencial. Les demandes de les indústries envasadores s'han mantingut constants en ambdós escenaris.

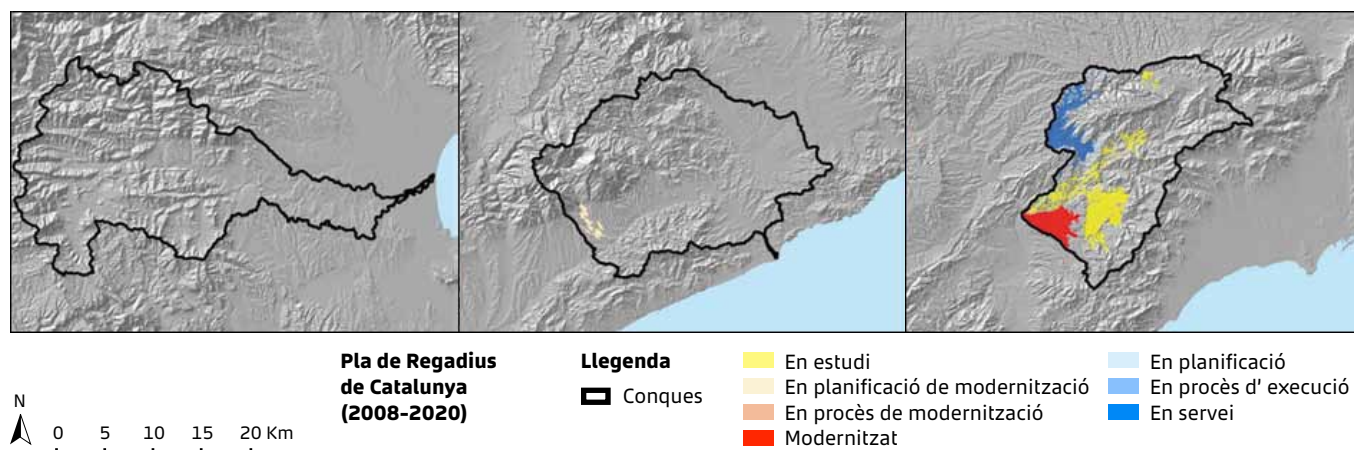


Figura 102. Superfície de regadiu segons el Pla de Regadius de Catalunya (2008-2020)

- **Ús agrícola:** La prognosi del PGDCFC preveu la reducció en un 4.4% de les dotacions en el 2027 per la modernització del regadiu. Per estimar la superfície agrícola ocupada en el futur, s'ha fet servir el Pla de Regadius de Catalunya que recull les propostes de desenvolupament del sector pel període 2008-2020. Aquest pla té per objectius (1) modernitzar els regadius històrics per tal de millorar l'eficiència del regadiu i la seva gestió; (2) impulsar nous regadius, i per tant eficients, en aquelles àrees que tenen un potencial agrícola important; i (3) recolzar les Comunitats de Regants. De les tres conques d'estudi, únicament al Siurana es preveu el increment de la superfície de regadiu en 6199ha (superfície en estudi o en planificació) (Figura 102 i

- Taula 51 . A la Tordera, hi ha prevista la modernització d'una petita superfície (500ha). Les demandes d'aigua s'han estimat en funció de la superfície agrícola al 2030 i les dotacions futures. A l'escenari sostenible, s'ha considerat que es redueixin les dotacions en un 4.4% fruit de l'aplicació de mesures de modernització; a l'escenari tendencial es mantenen les dotacions del 2008. En ambdós escenaris s'han incorporat els efectes del canvi climàtic, que degut a la pujada de la temperatura i la reducció de la precipitació projectada, provoca un augment de les necessitat hídriques dels conreus.

	Tipus d'actuació	Superfície (ha)
Tordera	En planificació de modernització	499.1
		499.1
Siurana	En estudi	5598.7
	En planificació	600.0
	En procés d'execució	17.7
	En servei	1331.7
	Modernització	1886.6
		9434.6

Taula 51. Superfície de les conques afectades pel Pla de Regadius de Catalunya per tipus d'actuació.

- **Ús ramader:** La prognosi del PGDCFC preveu l'estabilitat del consum d'aigua al 2027. Per aquesta raó, s'ha considerat estable la demanda d'aigua pel sector ramader als dos escenaris al 2030.

- **Ús recreatiu:** El PGDCFC preveu estabilitat en la demanda de balnearis i increments del 40% en camps de golf. A més a més, l'aigua regenerada usada als camps de golf passarà del 63% (2007) al 67% (2027). Per l'escenari sostenible, s'ha considerat estable el consum d'aigua per usos recreatius i s'ha considerat que el 67% de l'aigua té origen regenerat. Per l'escenari tendencial, s'ha considerat l'increment de la demanda dels consums dels camps de golf i el manteniment del percentatge actual d'aigua regenerada.

A la conca de la Tordera es produeixen les demandes més elevades per usos urbans i industrials, al tractar-se de la conca amb major creixement demogràfic (40% més en el tendencial). Pel que fa als usos agrícoles, l'escenari tendencial de la conca del Siurana presenta els increments més elevats (25 hm³/any més que en 2008), a conseqüència de l'aplicació total del Pla de Regadius de Catalunya (Taula 52).

		Usos urbans hm ³ /any	Usos industrials hm ³ /any	Usos agrícoles hm ³ /any	Usos ramaders hm ³ /any	Usos recreatius hm ³ /any	Total Usos consumptius hm ³ /any
Fluvià	Esc. Sostenible 2030	6.65	4.57	21.20	1.01	0.06	33.49
	Esc. Tendencial 2030	8.16	4.73	21.66	1.01	0.10	35.66
Tordera	Esc. Sostenible 2030	31.47	7.34	16.71	0.32	0.09	55.93
	Esc. Tendencial 2030	35.06	7.55	17.47	0.32	0.15	60.55
Siurana	Esc. Sostenible 2030	0.96	0.04	21.41	0.11	0.00	22.52
	Esc. Tendencial 2030	1.24	0.04	44.90	0.11	0.00	46.29

Taula 52. Estimació de volum d'aigua per tipus ús en hm³/any en 2030 per escenari.

3.3. Els quatre escenaris possibles de canvi global al 2030

S'han elaborat escenaris contrastats, de major a menor intensitat de canvi global, combinant les previsions de clima i de perspectives socioeconòmiques (Figura 103).

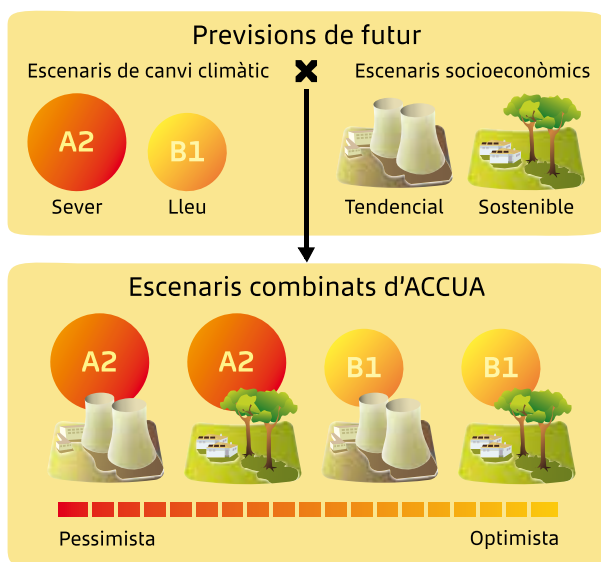


Figura 103. Els quatre escenaris possibles de canvi global al 2030 contemplats a ACCUA, a partir de la combinació de les projeccions de clima i les perspectives socioeconòmiques.

3.4. Com seran les masses d'aigua?

Lucila Candela, Karim Tamoh, Manolo Gómez, Gonzalo Olivares. UPC

Eduard Pla, Diana Pascual. ACCUA.

Javier Retana, Jaume Terradas. CREA

S'han avaluat els canvis en la disponibilitat dels recursos hídrics sota els efectes del canvi climàtic a final del segle (2076-2100) i sota els efectes del quatre escenaris de canvi global a curt termini (2030-2050). Els resultats d'aigües superficials es mostren de manera diferent segons el model hidrològic emprat (SWAT i HEC-HMS 3.4) i segon els escenaris climàtics utilitzats (SMC i UPC).

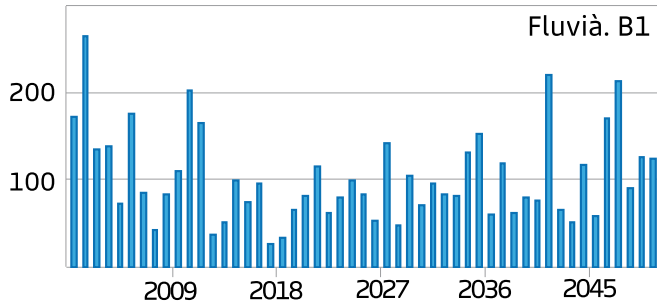
3.4.1. Aigües superficials

3.4.1.1. Resultats d'HEC-HMS 3.4 amb projeccions climàtiques de l'UPC

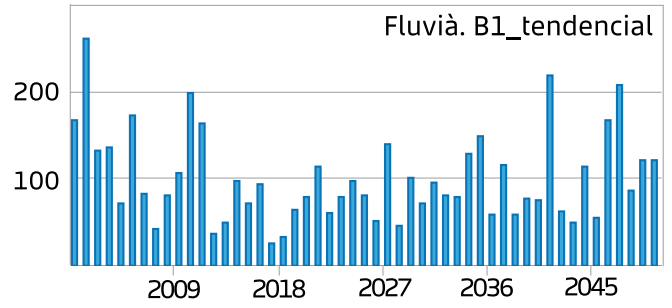
Canvis en les aportacions interanuals i estacionals

S'han avaluat els diferents escenaris per conca per a un període de 50 anys a partir de l'any 2000. Per a cadascuna de les conques els resultats es mostren de les figures Figura 104 a Figura 117.

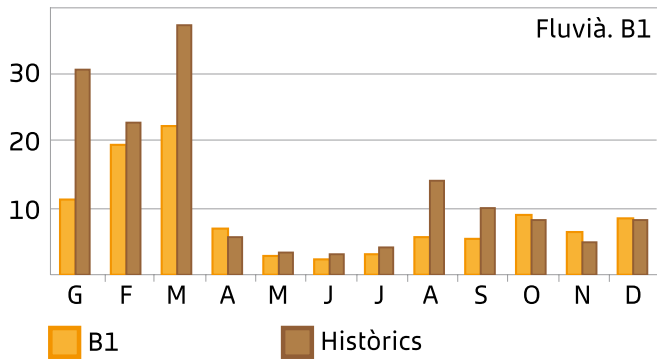
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)h



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

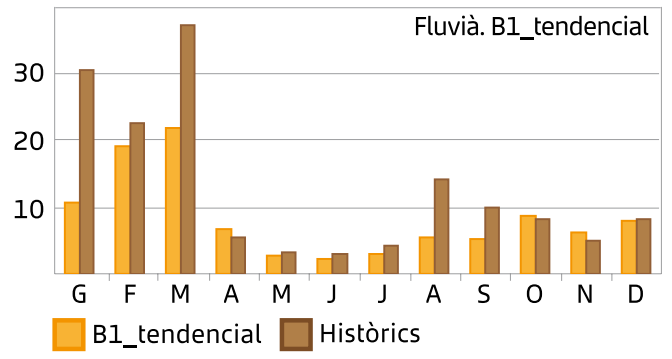
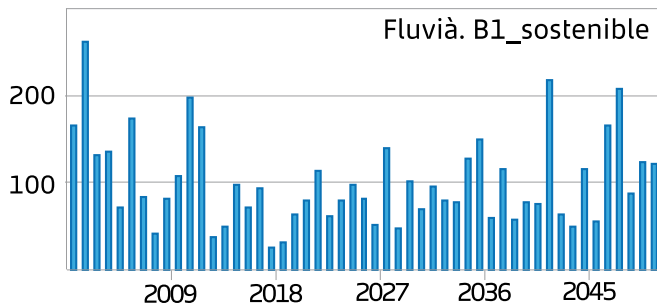


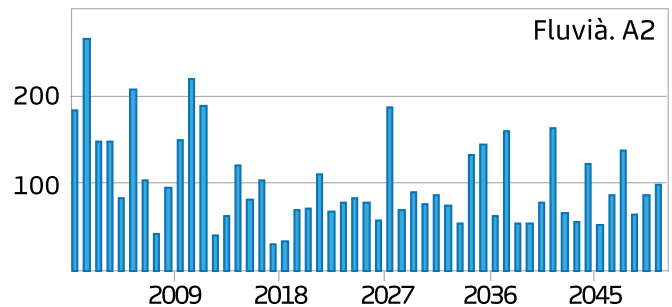
Figura 104. Escenari climàtic B1 a la conca del Fluvià. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 106. Escenari climàtic B1 i socioeconòmic tendencial a la conca del Fluvià. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

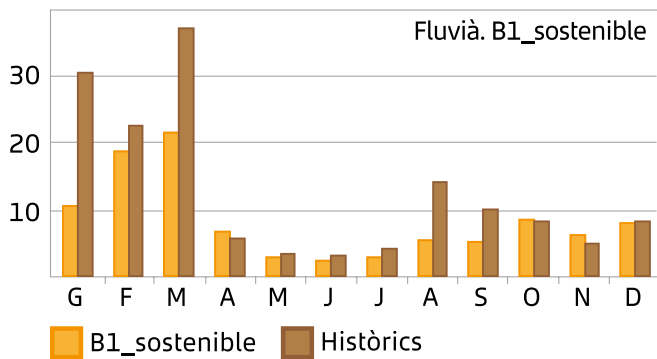
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

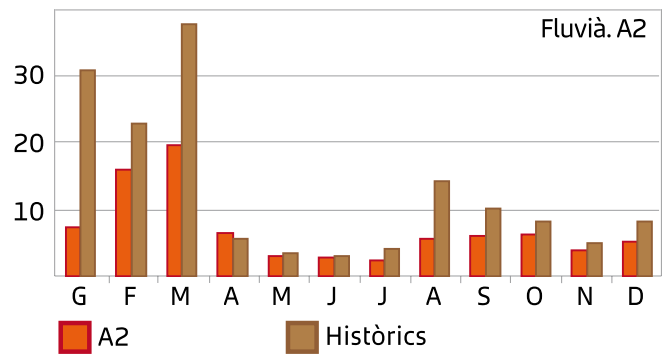
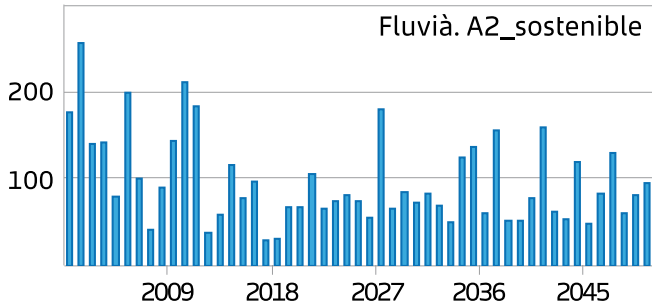


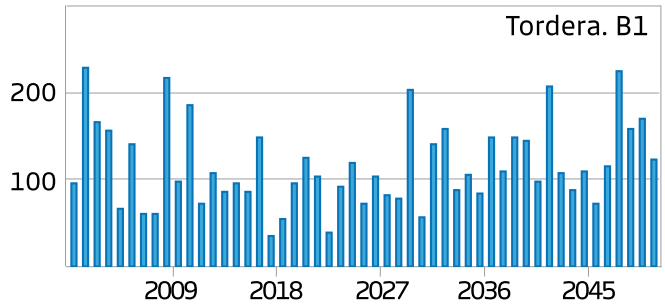
Figura 105. Escenari climàtic B1 i socioeconòmic sostenible a la conca del Fluvià. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 107. Escenari climàtic A2 a la conca del Fluvià. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

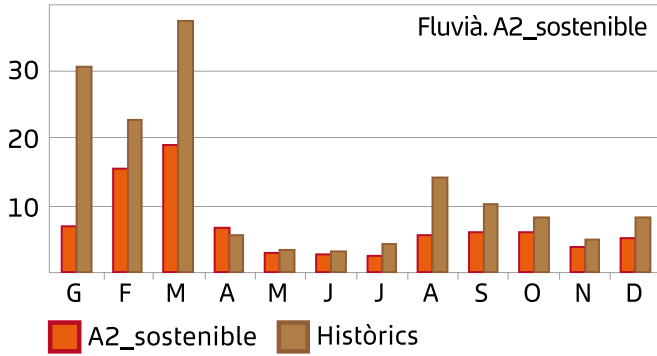
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

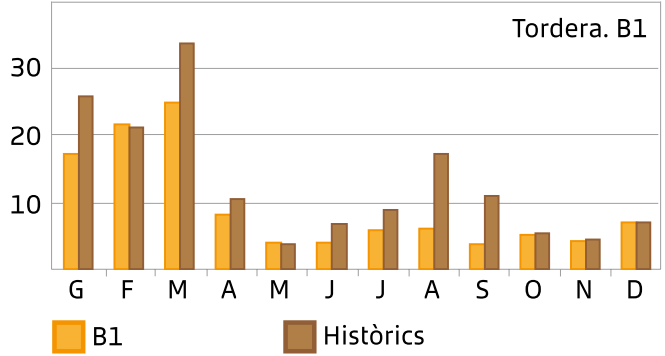
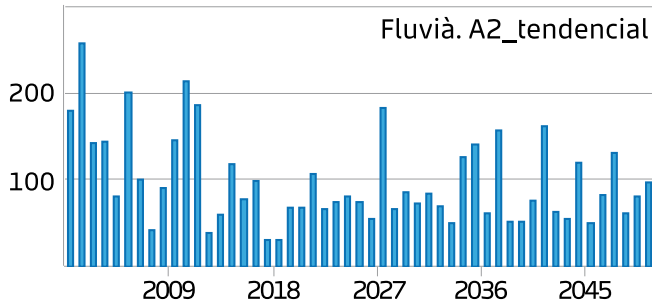


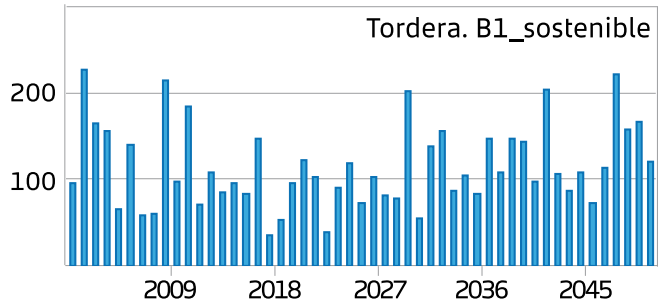
Figura 108. Escenari climàtic A2 i socioeconòmic sostenible a la conca del Fluvia. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 110. Escenari climàtic B1 a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

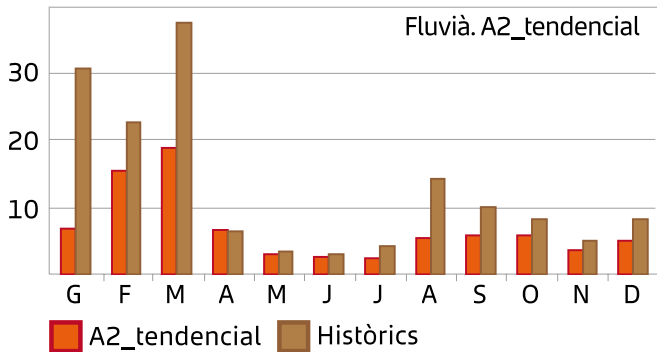
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

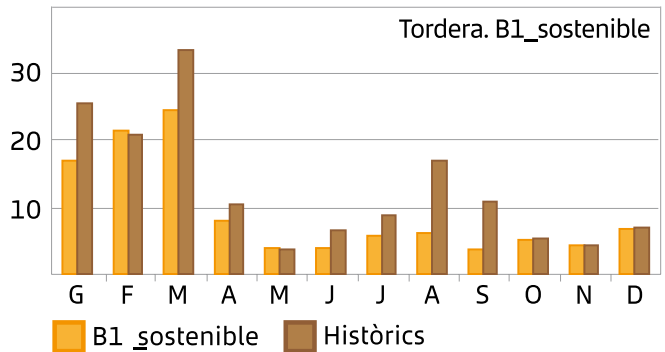
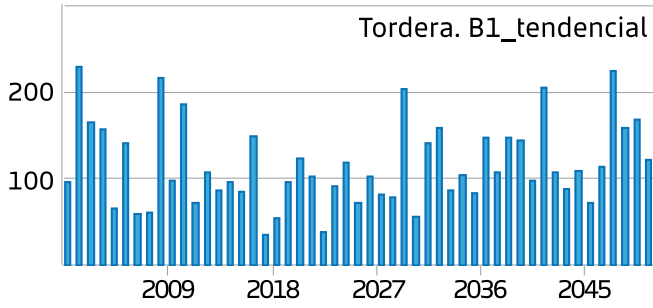


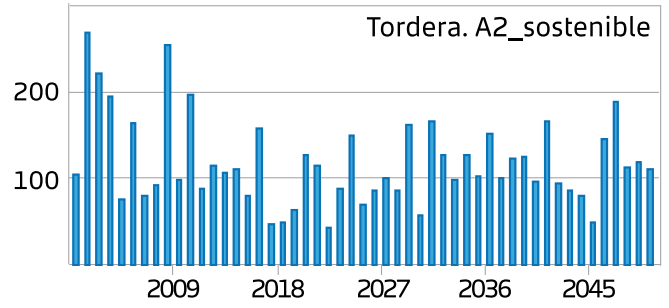
Figura 109. Escenari climàtic A2 i socioeconòmic tendencial a la conca del Fluvia. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 111. Escenari climàtic B1 i socioeconòmic sostenible a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

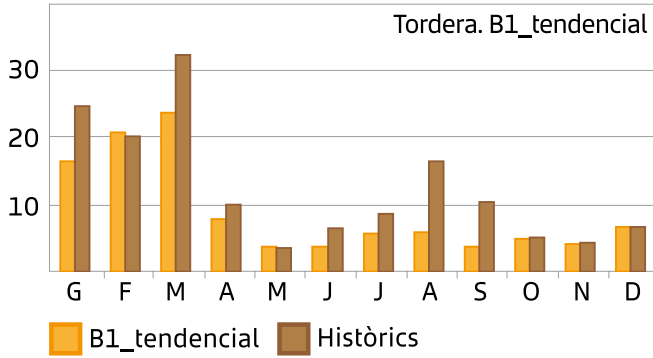
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

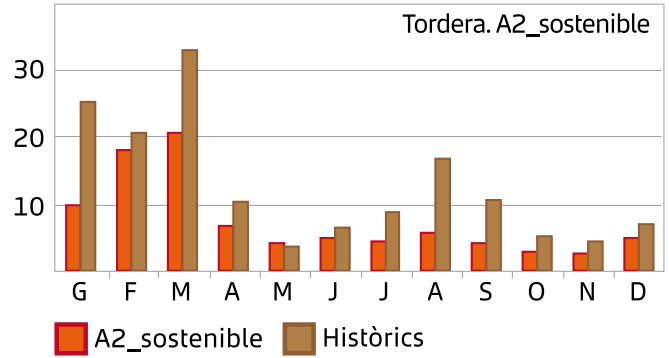
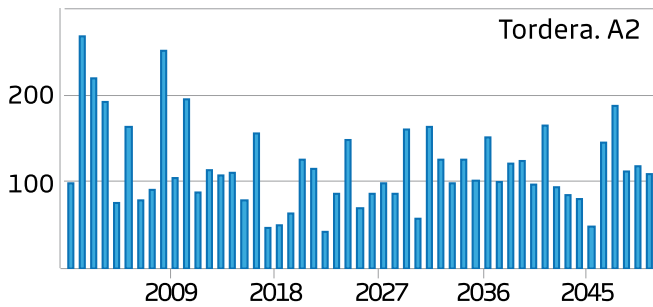


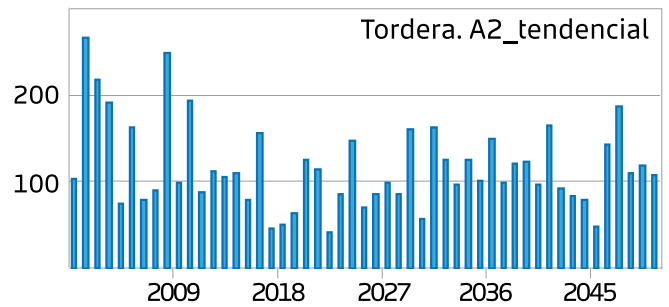
Figura 112. Escenari climàtic B1 i socioeconòmic tendencial a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 114. Escenari climàtic A2 i socioeconòmic sostenible a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

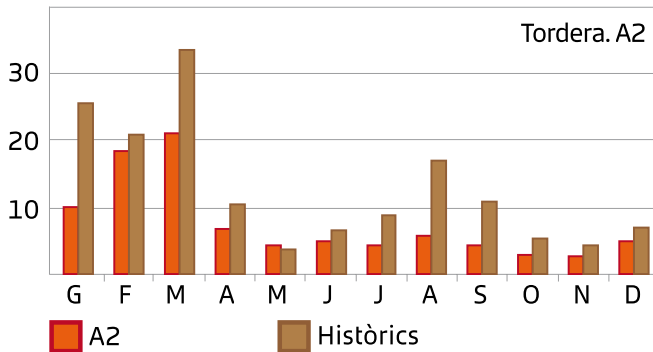
Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

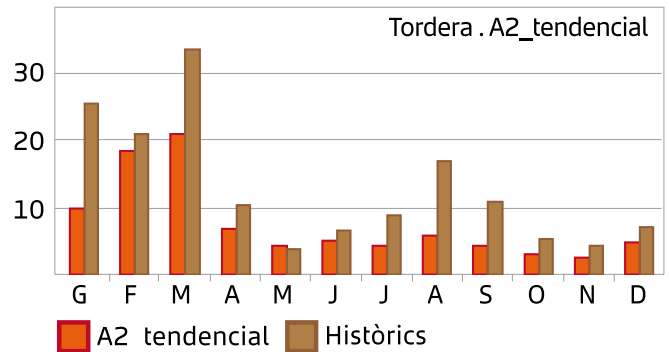
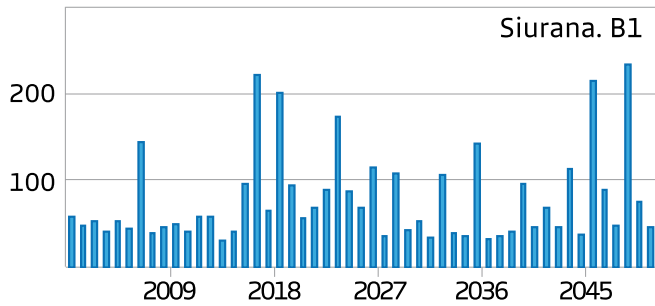


Figura 113. Escenari climàtic A2 a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Figura 115. Escenari climàtic A2 i socioeconòmic tendencial a la conca de la Tordera. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitja mensual (2000-2050) (Hm³)

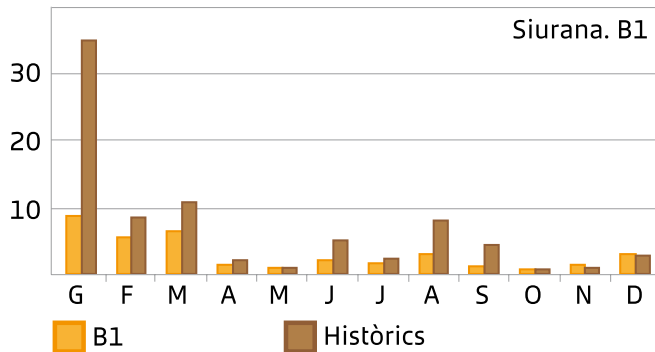
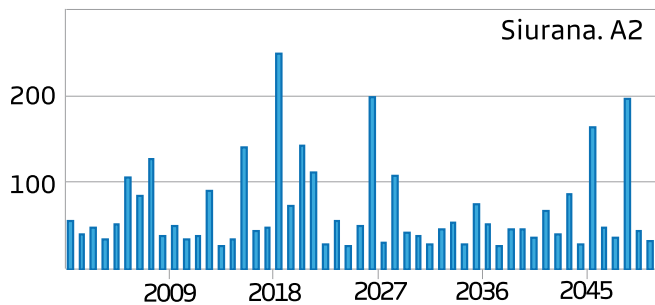


Figura 116. Escenari climàtic B1 a la conca del Siurana. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Aportació anual (2000-2050) (Hm³)



Aportació mitjana mensual (2000-2050) (Hm³)

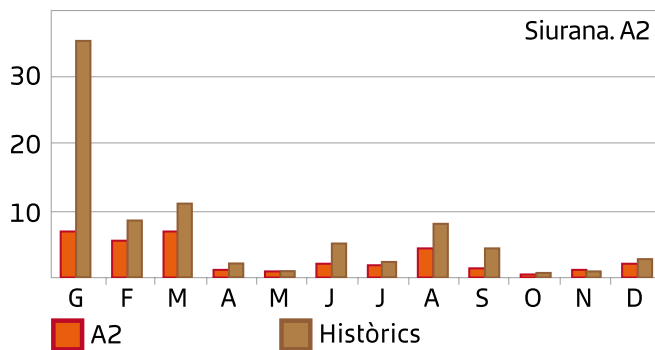


Figura 117. Escenari climàtic A2 a la conca del Siurana. Aportació anual de cabal (esquerra) i aportació mitjana mensual (dreta) per al període 2000-2050 i històric (1984-2008).

Les figures desplegades anteriorment corresponen a les aportacions mensuals mitjanes i anuals, en hm³, per a les tres conques en estudi i els seus diferents escenaris. S'observa en elles els canvis corresponents a les variacions dels diferents escenaris proposats per a l'estudi (B1 i A2). En la majoria dels casos les aportacions d'aquests escenaris són menors a les observades per a les dades històriques ja que en si d'inici, cada escenari duu associat una disminució de les precipitacions.

En relació als escenaris socioeconòmics (usos de sòl) plantejats en el present estudi, es va observar que els efectes en termes d'aportació de les variacions de sòl, cultius, etc. són pràcticament mínimes (veure quadre 5) i podria considerar-se que el major impacte en el canvi d'aportació es degut als escenaris climàtics.

La Taula 53 mostra un resum de valors d'aportació promitjos per als períodes futurs d'estudi per conca i per escenari.

En tots els casos s'aprecia una reducció en l'aportació a nivell de conca, entre el 30 al 50% segons conca. La reducció té dos components, una deguda a la pròpia reducció de la precipitació fruit dels efectes dels models de clima considerats, i altre més important a causa de l'efecte de la conca, les variacions d'humitat del sòl, etc.

Per al cas del Fluvià, s'observa que una disminució de la pluja del 8 al 17% genera disminucions de l'aportació que varien des d'un 33 a un 50%. El valor més gran correspon al registrat per a l'escenari A2 que va ser proposat com l'escenari més restrictiu de canvi en el futur. D'això es desprèn que existeix un efecte important del comportament del sistema hidrològic (conca) en termes d'aportació. Si bé és cert que la pluja i la seva distribució espacial i temporal és el principal factor que afecta l'aportació final, també s'observa que el tipus de conca i les seves característiques (infiltració, contingut d'humitat, evapotranspiració, etc) desenvolupa un rol important.

D'altra banda, la conca de la Tordera té un comportament una mica diferent a la conca del Fluvià. Si bé és cert que la conca de la Tordera posseeix una grandària menor al Fluvià (11%), les aportacions també varien de manera significativa.

Conca del Fluvià							
Escenaris	Mitja anual (Hm³) en 25 anys (2000-2024)	Mitja anual (Hm³) en 25 anys (2025-2050)	% respecte al històric (2000-2024)	% respecte al històric (2025-2050)	Precipitació mitja (2000-2024) històric (mm)	Precipitació mitja (2025-2050) històric (mm)	% respecte P_mitja
Històrics (1984-2008)	*155.1	*155.1	-	-	***870	***870	-
Escenari B1	103.9	105.2	68	68			
Escenari B1_sostenible	102.3	103.8	66	67	788	801.2	90 92
Escenari B1_tendencial	102.1	102.8	66	66			
Escenari A2	93.2	77.6	60	50			
Escenari A2_sostenible	90.1	75.4	58	49	761.4	722.6	87 83
Escenari A2_tendencial	90.7	75.0	58	48			
Conca de la Tordera							
Històrics	134.9	134.9	-	-	***708	***708	
Escenari B1	91.6	102.7	68	76			
Escenari B1_sostenible	91.5	102.6	68	76	664	683	94 96
Escenari B1_tendencial	91.6	102.8	68	76			
Escenari A2	82.7	75.5	61	56			
Escenari A2_sostenible	82.6	75.4	61	56	646	608	91 86
Escenari A2_tendencial	82.7	75.5	61	56			
Conca del Siurana							
Històrics	**18.8	**18.8	-	-	***493	***493	- -
Escenari B1	8.5	9.3	43	43			
Escenari B1_sostenible			42.8	43	461	468	93 94
Escenari B1_tendencial			43	43			
Escenari A2	8.8	8.2	41	40.5			
Escenari A2_sostenible			41	40.8	437	434	88 88
Escenari A2_tendencial			41	40.5			

*Valors històrics (1984-2008) calculats per a la conca del Fluvià i la Tordera

**Valors històrics (1984-2007) calculats per a la conca del Siurana

***Valors històrics de precipitació en cada conca d'estudi

Taula 53. Resum d'aportacions anuals mitjanes per a cada conca en estudi i escenari proposat.

S'observa que amb disminucions en la precipitació del 5 al 14%, hi ha disminucions en l'aportació que van del 24 al 44%, una mica menors que les variacions observades en el Fluvià. Està clar que l'efecte de la disminució de la pluja podria veure's mitigat per la influència dels aqüífers existents en la zona de la Tordera. Aquest efecte és clarament replicat en el model físic proposat per a la resolució d'aquest problema. Novament s'observa que l'escenari A2 presenta menors valors d'aportació producte que correspon a l'escenari més advers.

Finalment el cas del Siurana correspon al cas més interessant d'analitzar. No obstant això, la falta d'informació històrica de base, amplifica la incertesa associada a allò calculat en el model. S'observen a priori canvis esperables per a una conca d'aquest tipus, amb lleres efímeres. Per ubicació i condició,

la conca se situa en un sector sec, on hi ha una disminució de més del 30% de precipitació pel que fa a les altres conques, tal com s'aprecia en la sèrie històrica. Hi ha una clara disminució de l'aportació per a ambdós escenaris de gairebé el 60% (entre 57% i 59.5%) amb canvis en la precipitació (disminució) de no més del 12%. És la conca que presenta resultats més similars entre els escenaris A2 i B1, a diferència de les anteriors on hi ha diferències per a cada família d'escenaris.

Els resultats de la conca del Siurana demostren l'estat de fragilitat de zones amb dèficit de precipitació i com canvis bruscs en la precipitació poden fer variar dràsticament les aportacions. Seria interessant un estudi més detallat d'aquestes zones ja que són les quals es trobarien en situació més vulnerable davant possibles canvis en el clima local.

Distribució percentual dels cabals mínims a les conques d'estudi pels diferents escenaris

S'ha realitzat una anàlisi de distribució de cabals baixos, a fi de conèixer quins serien els canvis possibles sota els escenaris proposats (Figura 118 a Figura 123).

S'ha observat que en la majoria dels casos per a les conques del Fluvià i Tordera, existeix una disminució en la freqüència de cabals per als rangs extrems, és a dir, per a rangs entre 0 i 1 m³/s i per a majors a 5 m³/s. D'aquesta mateixa forma es veu clarament una major concentració de cabals en el rang de 1 a 5 m³/s. Això podria traduir-se en una disminució de cabals màxims així com també un redistribució de cabals mínims. Aquests canvis ocorren tant per a l'escenari B1 com l'A2.

Per al cas de la conca del Siurana els resultats són similars encara que el rang de valors es modifica com a conseqüència d'un augment de l'ocurrència de cabals menors en la conca. Addicionalment el riu presenta períodes llargs que el cabal és igual a zero. Novament hi ha una redistribució de cabals en rangs mitjos (0.1-0.5 m³/s) i una disminució de freqüència en cabals menors a 0,1 m³/s i majors a 0,5 m³/s

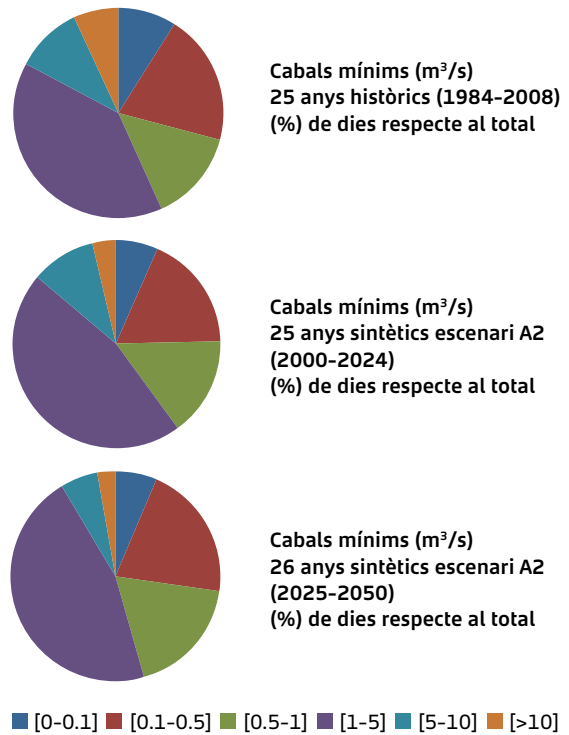


Figura 119. Distribució dels cabals mínims per a la conca del Fluvià de l'escenari A2 pel que fa a l'històric.

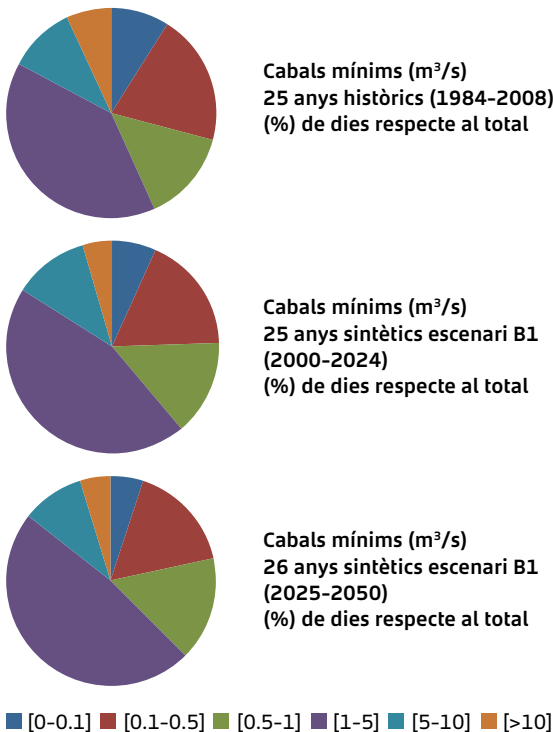


Figura 118. Distribució dels cabals mínims per a la conca del Fluvià de l'escenari B1 pel que fa a l'històric.

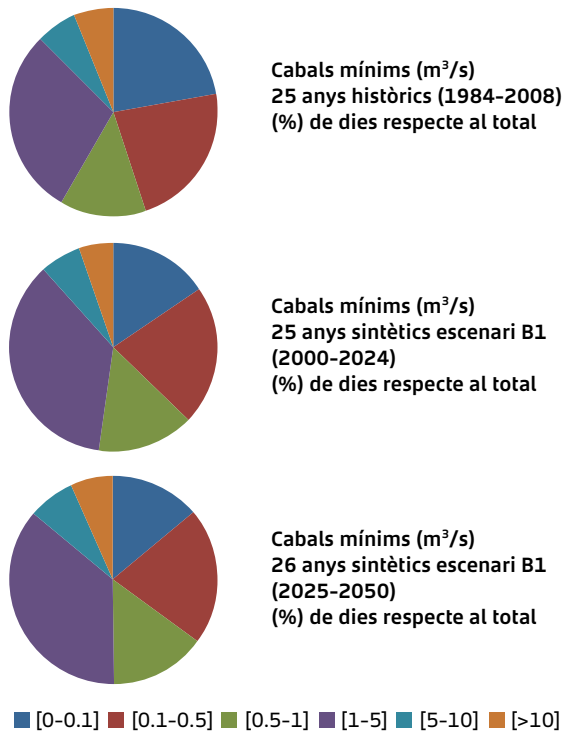


Figura 120. Distribució dels cabals mínims per a la conca de la Tordera de l'escenari B1 pel que fa a l'històric.

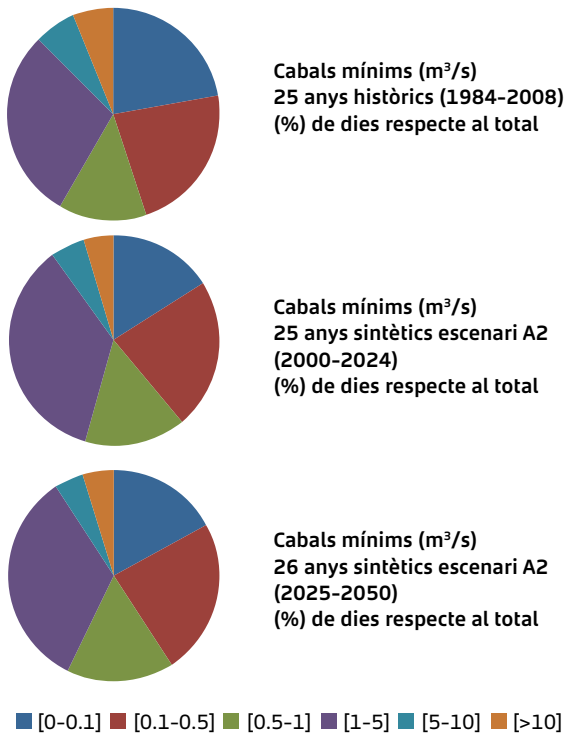


Figura 121. Distribució dels cabals mínims per a la conca de la Tordera de l'escenari A2 pel que fa a l'històric.

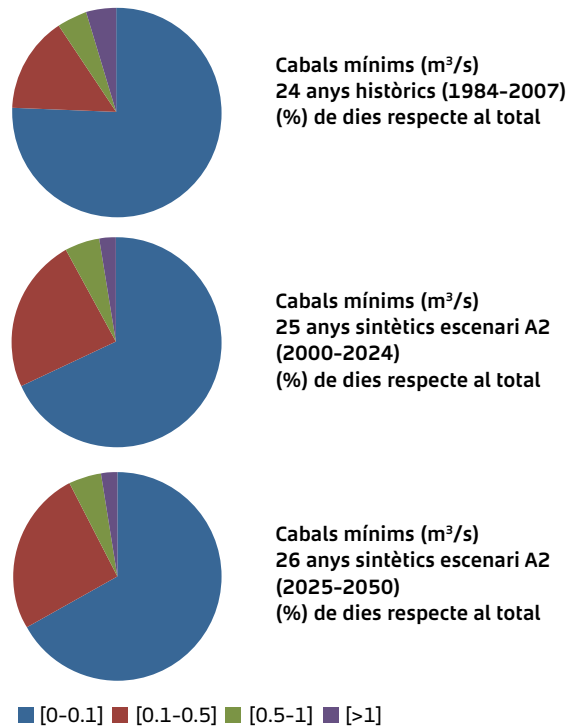


Figura 123. Distribució dels cabals mínims per a la conca del Siurana de l'escenari A2 pel que fa a l'històric.

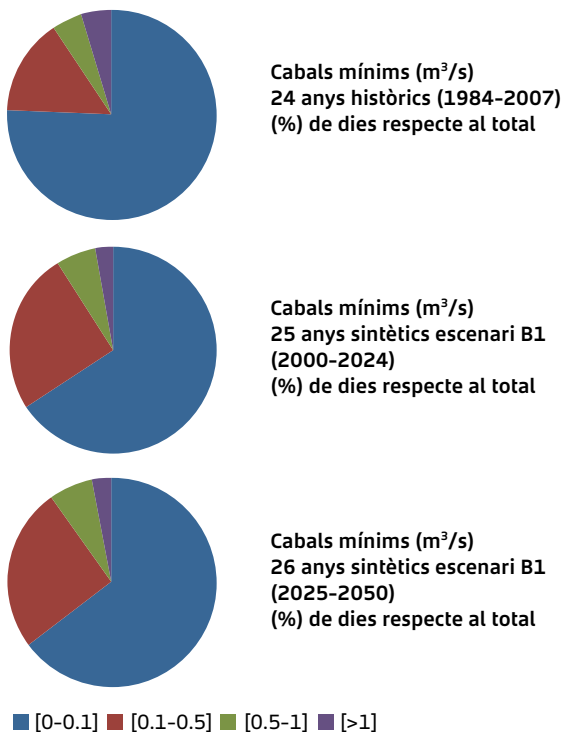
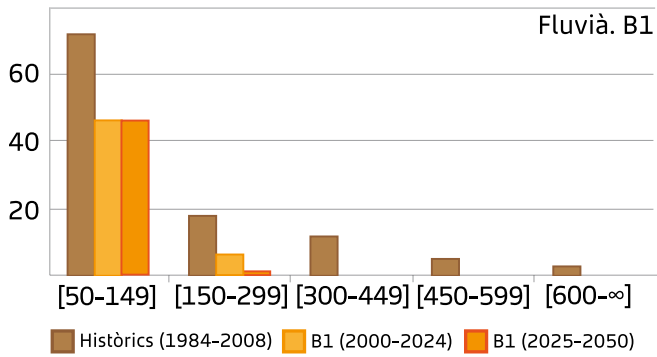


Figura 122. Distribució dels cabals mínims per a la conca del Siurana de l'escenari B1 pel que fa a l'històric.

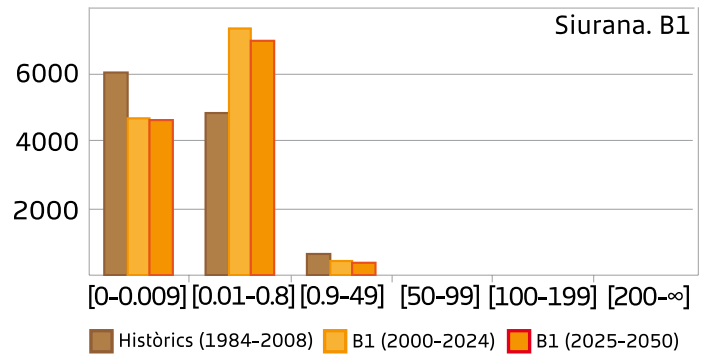
Distribució de cabals màxims per a les tres conques en estudi per escenari climàtic.

Les Figura 124, Figura 125 i Figura 126 corresponen a l'anàlisi de freqüència de cabals màxims. No vament és conclouent que existeix per a, cadascuna de les conques i escenari proposat, una disminució de la freqüència dels esdeveniments extrems, agrupant-se els cabals majoritàriament en classes mes baixes. Aquest procés es veu agreujat en l'escenari A2 que correspon al més advers seleccionat per a l'estudi. En la conca del Siurana, per exemple, la més seca de les tres estudiades, durant el període històric de 1984 a 2007, hi ha 5 esdeveniments entre 100 i 200 m³/s, i 3 per sobre dels 200 m³/s. Considerant qualsevol dels escenaris segons models de clima analitzats, desapareixen els cabals màxims per sobre dels 200 m³/s, i en el rang de 100 a 200 m³/s, només hi ha un per a l'escenari A2, i cap en l'escenari B1.

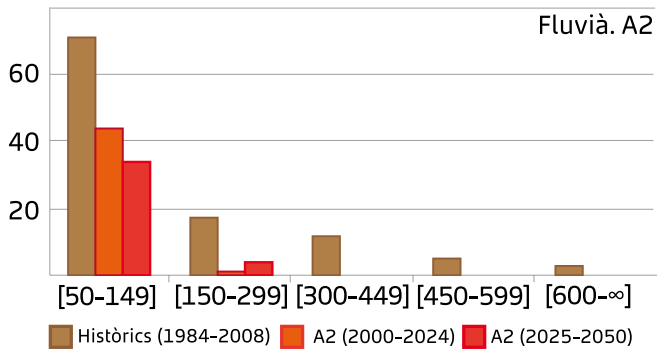
Distribució del cabal (m³/s)



Distribució del cabal (m³/s)



Distribució del cabal (m³/s)



Distribució del cabal (m³/s)

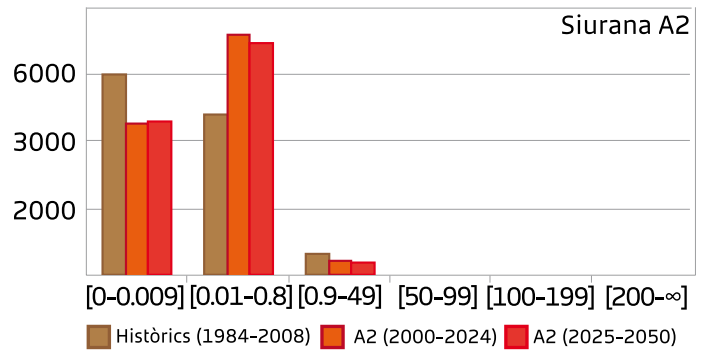
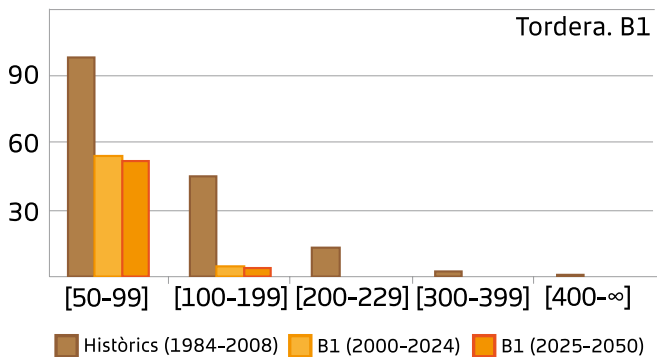


Figura 124. Distribució dels cabals alts per a l'escenari B1 (a l'esquerra) i A2 (a la dreta) en la conca del Fluvià pel que fa a l'històric.

Figura 126. Distribució dels cabals alts per a l'escenari B1 (a l'esquerra) i A2 (a la dreta) en la conca del Siurana pel que fa a l'històric.

Distribució del cabal (m³/s)

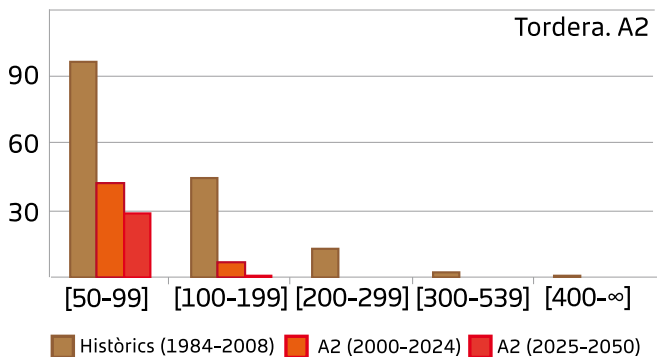


3.4.1.2. Resultats de SWAT amb projeccions climàtiques del SMC

Canvis en les aportacions interanuals i estacionals

Els resultats de disponibilitat hídrica futura mostren reduccions generalitzades del cabal i l'evapotranspiració real. Els resultats s'han analitzat en dos horitzons temporals (curt termini i llarg termini) i dos zones espacials (capçalera i desembocadura).

Distribució del cabal (m³/s)



A llarg termini, les simulacions únicament consideren els efectes del canvi climàtic sobre els recursos hídrics, ja que els escenaris socioeconòmics dissenyats mostren la ocupació territorial al 2030. Els usos de sòl considerats en aquestes simulacions són els del mapa de cobertes del sòl de l'any 2000 i no incorporen les extraccions per cobrir els usos futurs perquè les previsions fetes arriben fins l'any 2030. En el cas del Siurana, els embassaments s'han simulat com no controlats i el cabal mínim de sortida diària s'ha fixat al cabal ecològic dissenyat per l'ACA per cada mes (veure en el següent

Figura 125. Distribució dels cabals alts per a l'escenari B1 (a l'esquerra) i A2 (a la dreta) en la conca de la Tordera pel que fa a l'històric.

punt). La Taula 54 mostra els percentatges de reducció del cabal en els dos horitzons temporals i espacials respecte al valor promig de període de referència (1984-2008). Les reduccions més severes s'esperen a l'escenari A2, tant a curt termini (14-20%) com a llarg termini (33-39%). L'efecte més sever del canvi climàtic s'espera a les zones més humides, principalment la capçalera del Fluvià, amb reduccions entre 32 i 48%. Al Siurana, l'escenari B1 prediu un lleuger increment del cabal a curt termini (+5%) degut a un augment previst de la precipitació al període 2025-2050.

		Curt termini (2006-2030)		Llarg termini (2006-2030)	
		Capç.	Des.	Capç.	Des.
B1	Fluvià	-14%	-9%	-31%	-22%
	Tordera	-9%	-9%	-22%	-25%
	Siurana	+4%	+5%	-22%	-22%
A2	Fluvià	-20%	-14%	-48%	-39%
	Tordera	-13%	-18%	-33%	-37%
	Siurana	-16%	-16%	-32%	-33%

Taula 54. Reducció del cabal esperada per escenari climàtic, període i zona comparat amb el període de referència

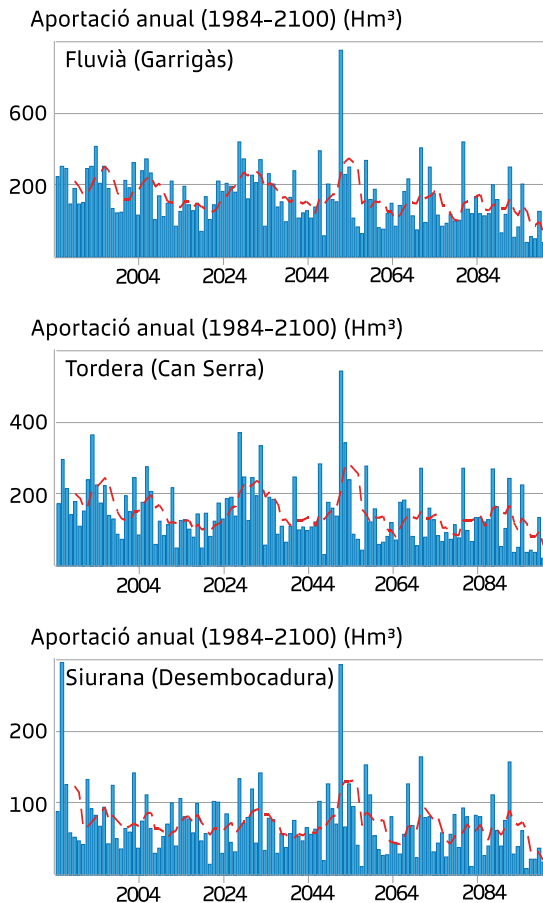


Figura 127. Evolució de les aportacions al llarg del segle XXI per l'escenari climàtic A2. En vermell, es mostra la mitjana mòbil de cinc anys.

La Figura 128 mostra la distribució de les reduccions de cabal a nivell estacional a curt termini (2006-2030). Les gràfiques mostren els resultats per la desembocadura del Fluvià, però s'han obtingut resultats semblants per les altres conques. A l'escenari climàtic B1, les reduccions més grans es produïren a la primavera i a l'estiu, mentre que a l'escenari A2 les estacions més afectades seran l'hivern i la primavera.

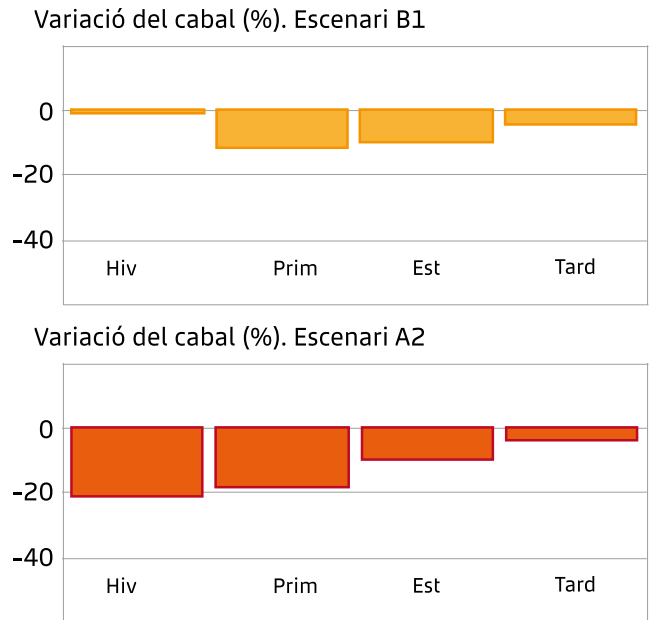


Figura 128. Variació de cabals (%) esperada per escenari. Les gràfiques mostren els resultats per la desembocadura del Fluvià com el percentatge de canvi del cabal promig pel període 2006-2030 respecte al valor promig pel 1984-2008.

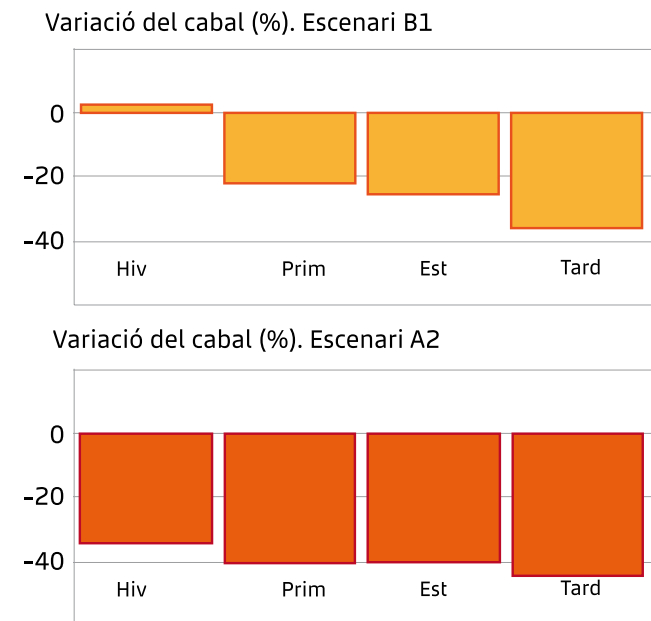


Figura 129. Variació del cabal (%) esperada per escenari. Les gràfiques mostren els resultats per la desembocadura del Fluvià com el percentatge de canvi del cabal promig pel període 2076-2100 respecte al valor promig pel 1984-2008.

A llarg termini, les estacions més afectades són la tardor i l'estiu per ambdós escenaris climàtics, mentre que es preveu un lleuger increment del cabal a l'hivern a l'escenari B1.

A **curt termini**, s'han avaluat els efectes conjunts del canvi climàtic i el canvi d'usos de sòl segons els quatre escenaris proposats a l'apartat 3.3. Els usos de sòl i les demandes d'aigua considerades en cada cas depenen de l'escenari socioeconòmic. En el cas del Siurana, els embassaments s'han considerat com no controlats i el cabal mínim de sortida diària s'ha fixat a nivell mensual com la suma de:

- el cabal ecològic dissenyat per l'ACA (vegeu en el següent punt)
- les necessitats de reg al 2030 del conreu d'aigües avall de cada embassament que no queden cobertes per la pluja, Per cada escenari socioeconòmic la superfície de reg és diferent i, per tant, també els cabals de sortida.
- les derivacions actuals per nodrir Riudecanyes i Palma d'Ebre. S'ha considerat constant la derivació cap ambdues sistemes en tot el període. D'aquesta forma, es podran quantificar directament els efectes del pla de regadius sobre els recursos hídrics.

La Taula 55 mostra els cabals de sortida (m³/s) de cada embassament segons l'escenari socioeconòmic.

La Taula 56 mostra els percentatges de variació del cabal a curt termini per la capçalera i desembocadura. en els dos horitzons temporals i espacials respecte al valor promig de període de referència (1984-2008). Al Fluvià i la Tordera, els canvis d'ús del sòl i les demandes d'aigua associades tenen un impacte menor comparat amb l'efecte del canvi del clima. Com a contrapunt, al Siurana, l'increment de les demandes associades als canvis d'ús del sòl agrícola (regadiu) pot amplificar l'efecte del canvi climàtic pel que fa als recursos disponibles. Al Fluvià, les reduccions de cabals més severes s'esperen a la capçalera (-20%).

La Figura 131 mostra la distribució de les reduccions de cabal a nivell estacional a curt termini (2006-2030). Les gràfiques mostren els resultats per la desembocadura del Fluvià, però s'han obtingut resultats semblants per les altres conques. A l'escenari climàtic B1, les reduccions més grans es produïren a la primavera i a l'estiu, mentre que a l'escenari A2 les estacions més afectades seran l'hivern i la primavera.

	Escenari	Gen	Feb	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Des
Emb. Siurana	Tendencial	0.23	0.23	0.17	0.21	0.26	0.58	1.70	1.22	0.47	0.18	0.16	0.18
	Sostenible	0.23	0.23	0.17	0.21	0.24	0.35	0.99	0.87	0.31	0.15	0.16	0.18
Emb. Margalef	Tendencial	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.21	0.93	0.83	0.36	0.08	0.03	0.04
	Sostenible	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.20	0.85	0.76	0.33	0.08	0.03	0.04
Emb. Guiamets	Tendencial	0.04	0.04	0.04	0.04	0.09	0.76	2.66	1.36	0.65	0.12	0.03	0.04
	Sostenible	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.54	1.87	0.96	0.46	0.09	0.03	0.04

Taula 55. Cabals de sortida en m³/s de cada embassament en funció de l'escenari socioeconòmic.

Escenaris	Fluvià		Tordera		Siurana	
	Capç.	Des.	Capç.	Des.	Capç.	Des.
B1 + Sostenible	- 8%	- 5%	- 5%	- 3%	+ 9%	- 4%
B1 + Tendencial	- 11%	- 5%	- 5%	- 2%	+ 11%	- 8%
A2 + Sostenible	- 20%	- 13%	- 11%	- 15%	- 11%	- 25%
A2 + Tendencial	- 20%	- 13%	- 11%	- 14%	- 10%	- 29%

Taula 56. Variacions del cabal en percentatge a curt termini (2006-2030) en funció de l'escenari climàtic i socioeconòmic.

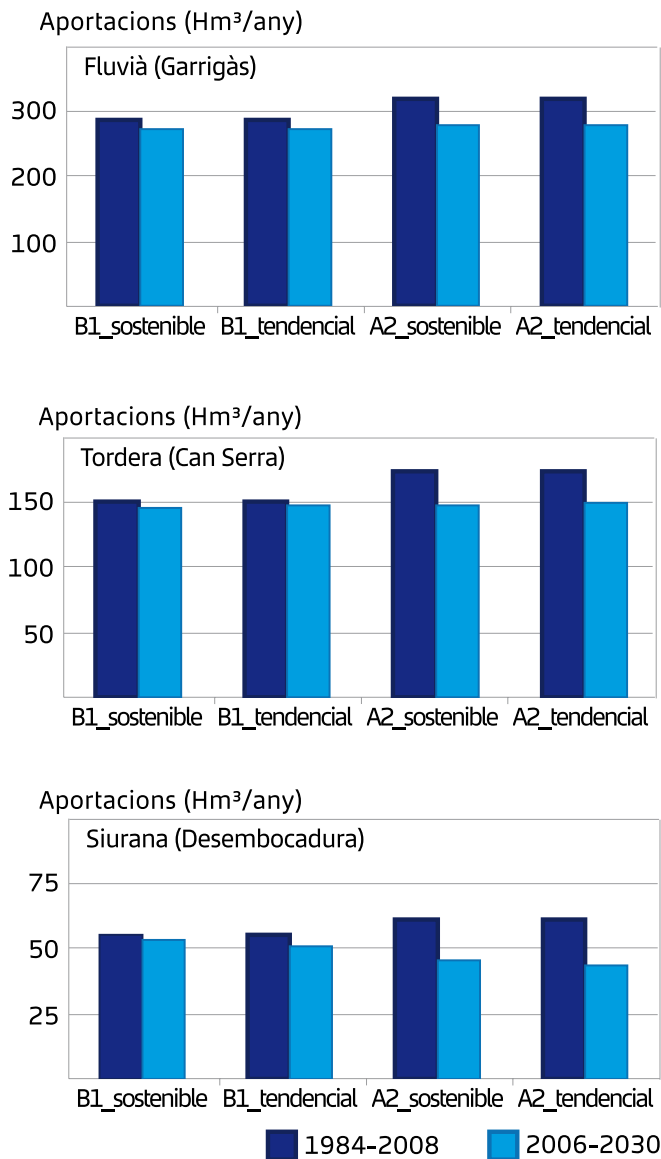


Figura 130. Promitjos d'aportacions (hm³/any) per període i escenari.

Efectes del canvi global en els cabals de manteniment

Entesos com a sistemes de drenatge de l'aigua dolça, els cursos fluvials presenten una forta variabilitat en funció de la localització i les condicions climàtiques, geomorfològiques i biològiques on es troben. Aquesta variabilitat hidrològica es bàsica per mantenir-ne les característiques, com són la morfologia, l'habitabilitat i el manteniment de

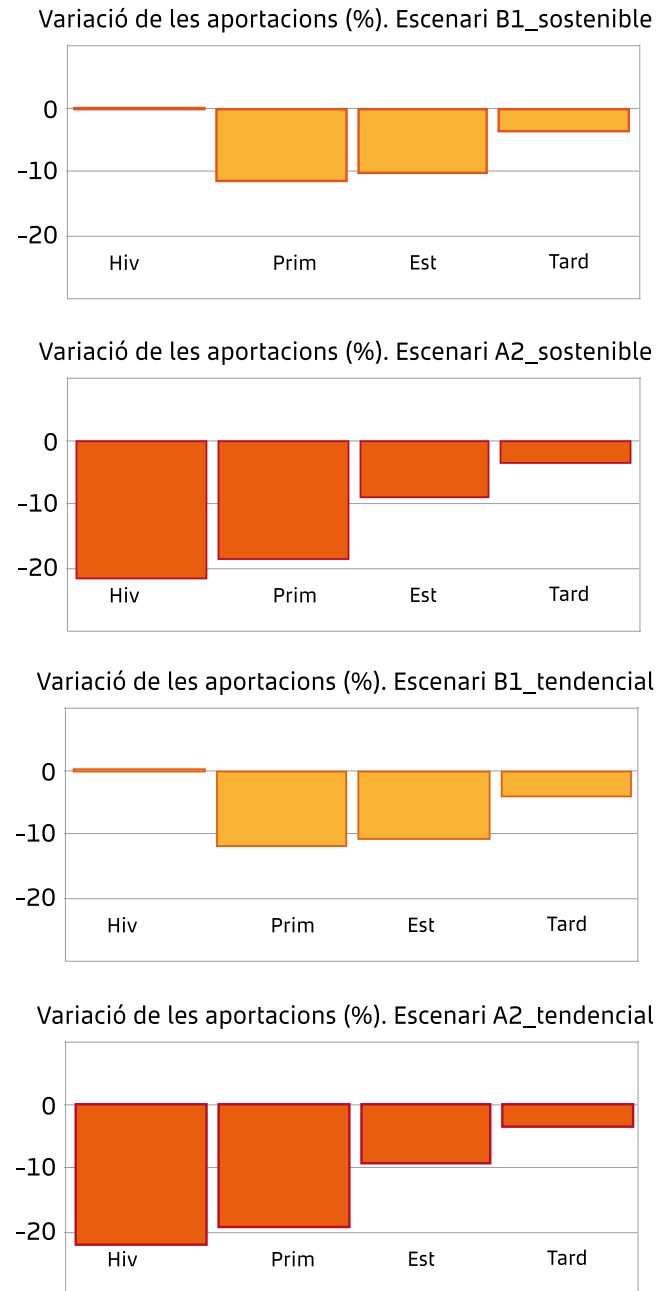


Figura 131. Variació de les aportacions (%) esperada per escenari. Les gràfiques mostren els resultats per la desembocadura del Fluvià com el percentatge de canvi del cabal promig pel període 2006-2030 respecte al valor promig pel 1984-2008.

comunitats biològiques. No obstant això, la pressió que les activitats humanes exerceixen sobre els cursos fluvials pot arribar a comprometre'n el funcionament. En aquest context, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA), com a ens gestor dels cursos fluvials i en consonància amb els objectius de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA), va establir

el 2005 un règim de cabals de manteniment (ambiental) que han de circular pels sistemes fluvials que faci compatible els usos amb la conservació de la qualitat ambiental. Aquest règim de cabals de manteniment és específic per a cada punt significatiu de la xarxa fluvial principal de les conques internes de Catalunya i varia de forma mensual en funció de la disponibilitat d'aigua. Per a les conques del Fluvià i la Tordera, el Pla Sectorial de Cabals de Manteniment proposa més d'una vintena de punts significatius, tant en els cursos principals com en els afluents. En el cas del Siurana, el Pla no disposa d'informació de base suficient per fer-ne una anàlisi tan detallada.

S'ha analitzat l'evolució dels cabals al llarg del segle XXI sota els escenaris de canvi climàtic. Examinats els resultats de cabals, s'ha fet una anàlisi del nombre de dies l'any en què el cabal

no supera el valor de cabal de manteniment proposat per l'ACA. Com a període control o referència, s'ha pres el nombre mitjà de dies de 1984–2008 i s'ha comparat amb dos períodes futurs: a curt termini (2006–2030) i a llarg termini (2076–2100). Els resultats mostren que, durant el període de referència o control, ja hi ha trams de riu, especialment a la capçalera, on els cabals circulants són inferiors al cabals ambientals (Figura 132). Si analitzem els efectes del canvi climàtic sobre els cabals a curt termini no s'observen canvis significatius en el nombre de dies amb cabals inferiors a l'ambiental, fora d'alguns trams a les capçaleres. Si l'anàlisi es fa a llarg termini, s'observa que hi ha trams, principalment a la zona de capçalera, on s'incrementen en més de 60 i 90 el nombre de dies en què els cabals no arriben al mínim ambiental.

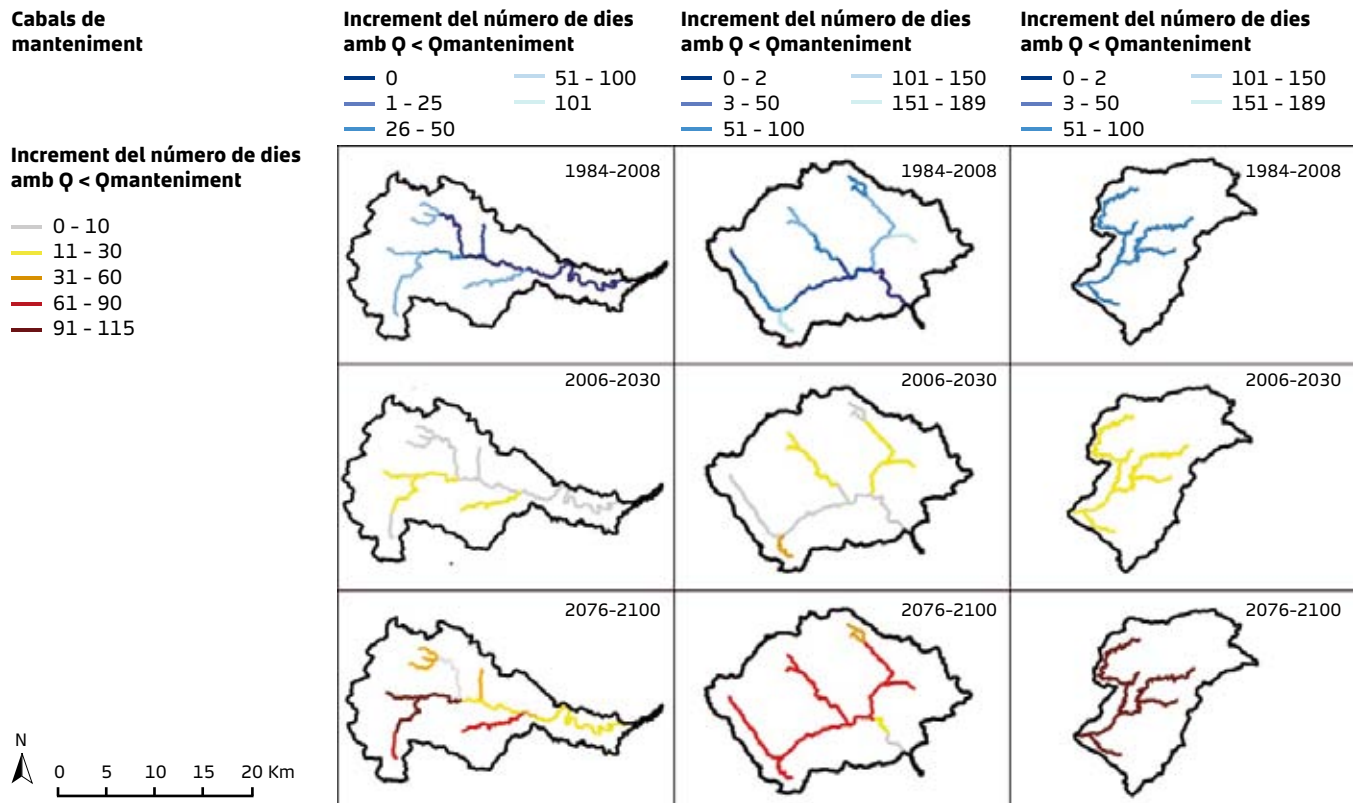


Figura 132. Canvis en els cabals de manteniment a les tres conques. A dalt s'hi mostren els dies a l'any amb cabal inferior al cabal de manteniment per al període de referència. A baix s'hi mostren els increments en número de dies en períodes futurs respecte el període de referència

Efecte del canvi en la superfície de bosc en el cicle hidrològic

A banda dels escenaris socioeconòmics, s'ha dissenyat un escenari fictici de reducció de la superfície boscosa per conèixer el seu efecte sobre el cicle hidrològic. Aquest escenari no és tan inversemblant si es té en compte que l'increment del risc meteorològic d'incendis al futur en un escenari d'absència de gestió pot implicar que una part dels boscos de les conques es cremin i passin a matollar. Per aquest escenari, s'ha suposat que la meitat del bosc present a l'actualitat a les conques situat en les zones de menor altitud passen a matollar al 2030 (Figura 132).

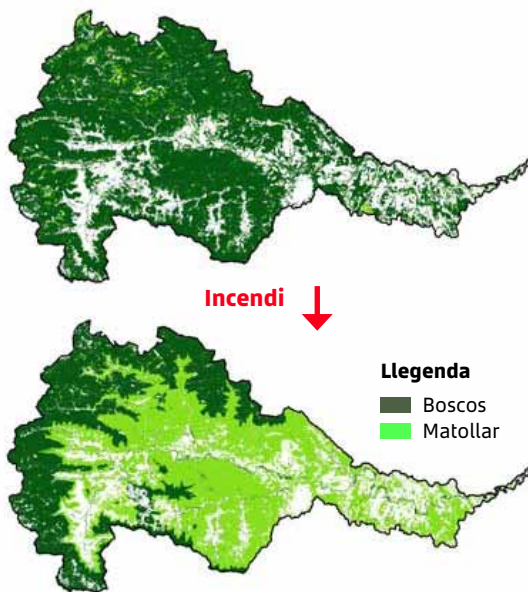


Figura 133. Reducció del 50% de la superfície boscosa en el Fluvià per causa dels incendis. S'ha prioritzat la desaparició dels boscos de menor altitud al ser els més exposats als incendis.

A continuació es mostren els resultats d'aquesta anàlisi per la conca del Fluvià a l'escenari climàtic A2. Els canvis observats a les altres conques són semblants. La reducció del bosc a la meitat provoca un lleuger increment dels cabals promitjos (7 i 9% més) i màxims (de 118 m³/s a 150 m³/s) en disminuir l'evapotranspiració i la infiltració neta (Taula 57 i Taula 58). S'observa un clar augment de la variabilitat dels cabals, amb tendència a situacions més extremes (mínims i màxims) (Figura 134).

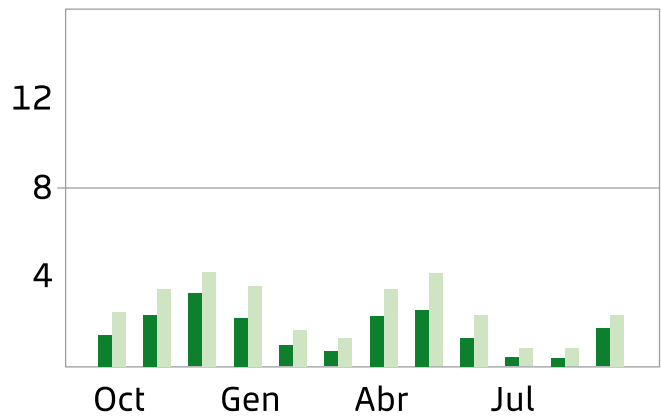
	Canvis de cabal a la capçalera	Canvis de cabal al tram final
Fluvià	+ 7%	+ 9%

Taula 57. Variacions del cabal en percentatge per tram de riu. Es comparen els valors promitjos del període 1984-2008 amb els usos del sòl actuals (100% del bosc) amb els valors promitjos del mateix període però amb els usos de sòl ficticis (50% bosc).

	Cabal màxim promig (m ³ /s)	Cabal mínim promig (m ³ /s)
Referència (MCSC 2000)	117.6	3.6
Bosc reduït a la meitat	150.3	3

Taula 58. Variació del cabal màxim i mínim instantani sota l'escenari socioeconòmic de referència (MCSC 2000) i l'escenari de reducció de boscos.

Número de dies amb cabal màxim (Q5%)



Número de dies amb cabal màxim (Q5%)

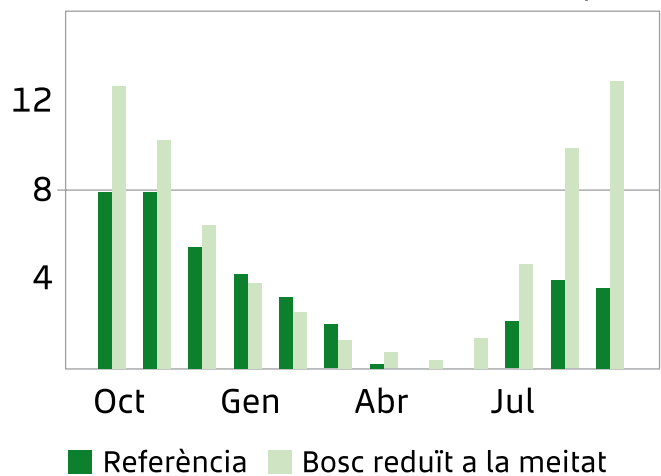


Figura 134. Variació en el número de dies a l'any amb un cabal màxim (Q5%) i cabal mínim (Q95%) entre els dos escenaris.

3.4.1.1. Comparació entre els models hidrològics

L'ús de dues aproximacions diferents per al tractament de la hidrologia superficial a ACCUA respon a l'objectiu d'acotar l'elevada incertesa associada a l'ús de metodologies i fonts d'informació diferents. El problema del grau d'incertesa associat als resultats en l'àmbit de la modelització del canvi climàtic normalment s'aborda fent ús d'aproximacions diferents.

D'una banda, l'ús de projeccions climàtiques amb regionalització estadística, acoblades al model HEC-HMS, mostren unes reduccions de cabals superficials més elevades arreu de les conques, especialment al Siurana. Contràriament, els resultats de SWAT amb projeccions del SMC mostren uns resultats més matisats arreu, però amb especial incidència a les capçaleres del Fluvià i la Tordera.

Els models presenten aproximacions metodològiques diferents i, tot i que la seva calibració i validació sigui satisfactòria en ambdós casos, les suposicions que descriuen els fenòmens físics són diferents. També, en el cas de SWAT s'ha fet una correcció altitudinal del clima que fa que els valors de precipitació puguin ser més elevats que amb l'HEC-HMS, que aplica una distribució espacial de la pluja sense corregir altitudinalment.

Però principalment, podem afirmar que les diferències fonamentals es deuen a les projeccions climàtiques utilitzades. La regionalització estadística és molt robusta perquè parteix de les sèries històriques observades però les seves projeccions són més severes, pel que fa a reducció de pluja, que les altres projeccions. Les sèries de regionalització estadística significarien un llinar més extrem de canvi. D'altra banda, la regionalització dinàmica representa uns canvis més moderats però presenta algunes limitacions pel que fa a reproduir l'estacionalitat de la pluja.

Tot i que ambdues aproximacions siguin formalment correctes, cap d'elles pot reproduir fidelment com serà la realitat futura. Sí que permeten testar hipòtesis i dibuixar un interval versemblant on s'ubicarà la realitat futura. Una manera d'abordar

el complex tema de la incertesa en aquest tipus d'estudis.

3.4.2. Aigües subterrànies

3.4.2.1. Canvis en la recàrrega subterrània

A partir del model de recàrrega calibrat per a l'escenari històric s'han generat les respostes hidrològiques en les conques per a dos horitzons temporals (2025 i 2050) i els escenaris A2 i B1 (IPCC) sense canvis i els mateixos escenaris sota supòsits de canvis d'usos del sòl tendencial i sostenible, definits en el marc del projecte. Els resultats es mostren per a les tres conques estudiades i per a les tres subconques definides en cada conca.

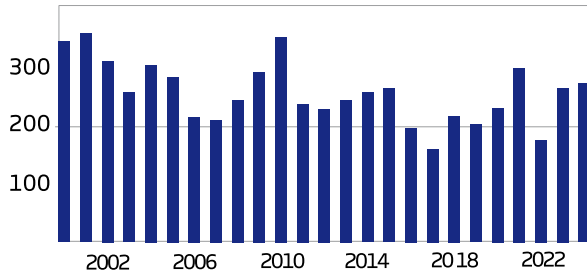
Per a les simulacions del model de flux com s'ha comentat anteriorment s'han introduït els nous paràmetres corresponents a la recàrrega i s'han obtingut els valors del balanç per als diversos escenaris.

Escenari B1

En termes generals i per a totes les conques s'ha de destacar que l'escenari B1 és el qual presenta unes variacions en la recàrrega menys importants (tan solament els resultats són destacables per al Tordera, tal vegada a causa d'una major presència de materials impermeables aflorant en la zona estudiada).

Pel que fa a la conca del **Fluvià**, la variació de la recàrrega anual futura solament s'ha calculat per a l'escenari B1 i dos períodes 2000-2024 i 2025-2050 amb l'objecte de poder quantificar la importància de la variabilitat associada atribuïble solament als canvis en les variables meteorològiques. Per al primer període de temps la recàrrega es redueix en un 9.1% respecte a la històrica, però si es compara el període 2000-2050 amb les dades històriques s'arriba a una reducció similar del 9.2%. Pel que fa a les conques seleccionades, no s'observen canvis importants i representatius, atès que els càlculs obtinguts s'emmarquen en els marges de l'error dels càlculs realitzats.

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050

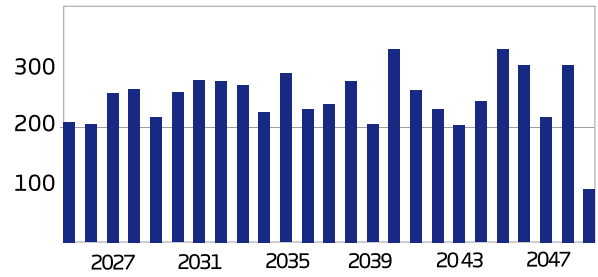
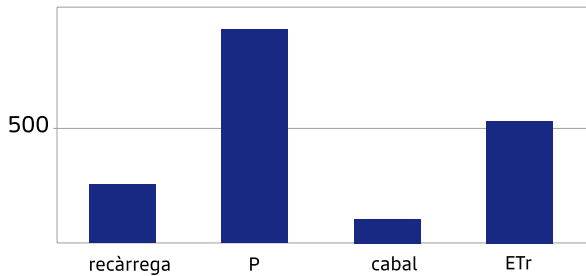


Figura 135. Fluvià: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050.

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

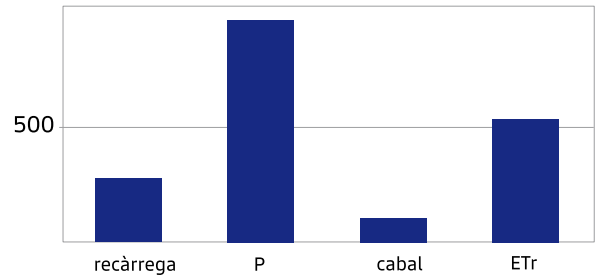


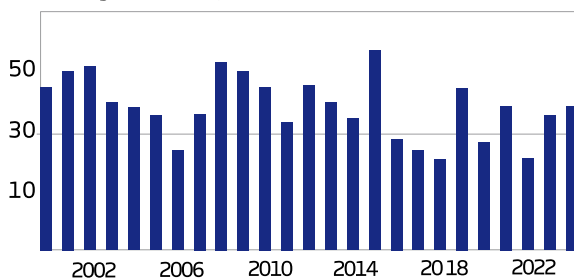
Figura 136. Fluvià: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

Pel que fa a la **Tordera**, la disminució de la recàrrega per als primers 25 anys és del 2.8%, però es produeix un increment de 3.7% per a 2025-2050. Encara que aquest últim resultat sembli contradictori, si es considera el valor de la desviació estàndard en ambdós casos es pot observar que no existeix una diferència

tan significant. Els factors que condicionen la variabilitat de la recàrrega en les conques continuen sent els canvis futurs de temperatura i precipitació en les conques seleccionades.

Recàrrega històrica= (37.8 ± 13.1hm³/any) i per a B1 2025-2050 (39.3 ± 7.9 hm³/any).

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050

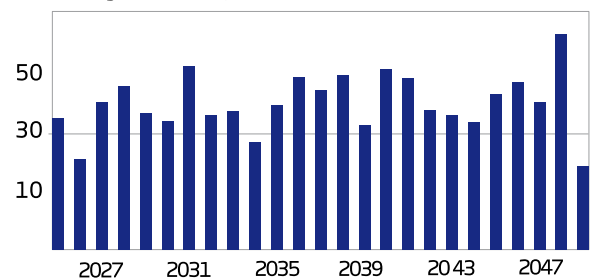
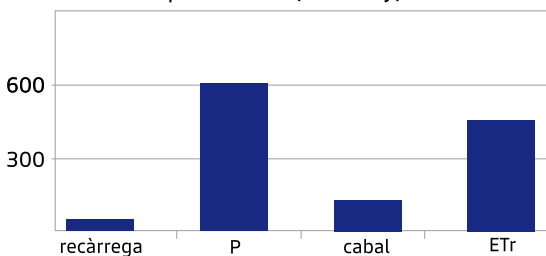


Figura 137. Tordera: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050.

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

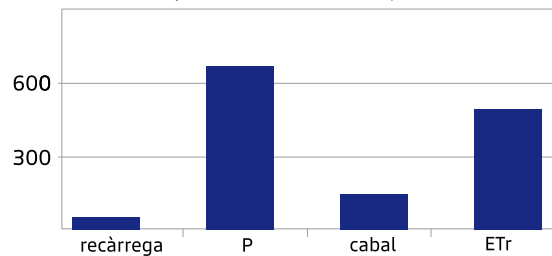
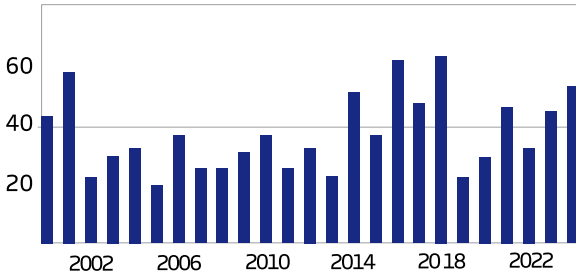


Figura 138. Tordera: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050

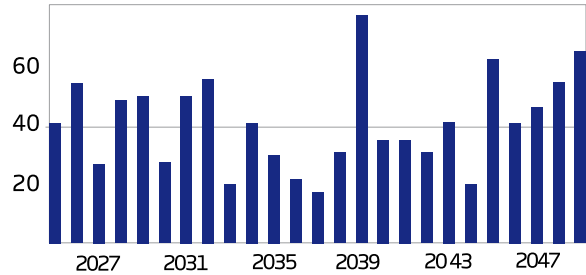
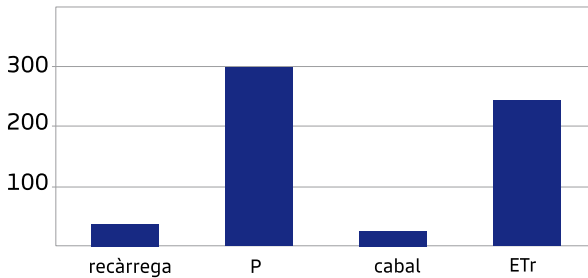


Figura 139. Siurana: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050.

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

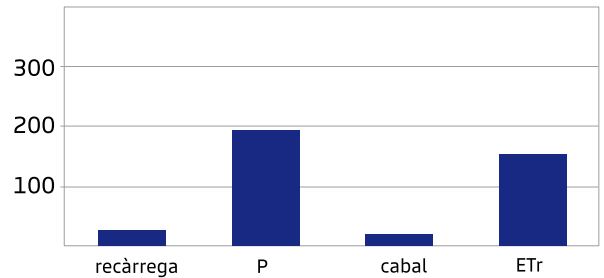


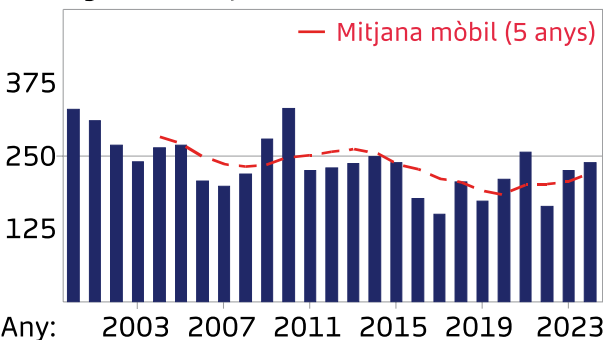
Figura 140. Siurana: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

Escenari A2

La variació de la recàrrega per als primers 25 anys és un 8.6% inferior a l'històric de la conca del **Siurana**, sent del 5.3% per al període 2025-2050, amb una important variabilitat i certa ciclicitat. Igual que en la conca anterior, no sembla observar-se un efecte important dels usos del sòl en la recàrrega final per a les conques seleccionades.

Per al primer període de temps la recàrrega es redueix en un 13.7% respecte a la històrica en la conca del Fluvià, però si es compara el període 2025-2050 amb les dades històriques s'arriba a una reducció del 20%. Pel que fa a les subconques seleccionades, no s'aprecien canvis significatius que puguin considerar-se representatius. Els valors obtinguts s'emmarquen en els marges de l'error dels càlculs realitzats.

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050

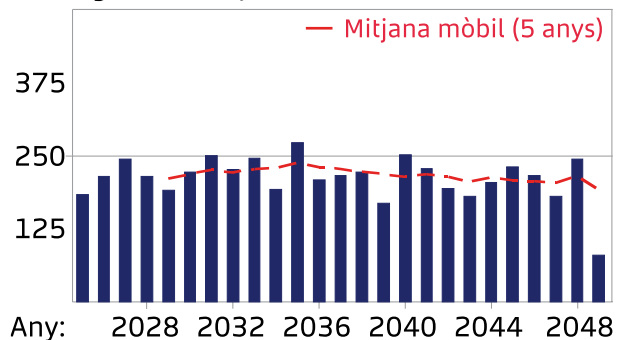
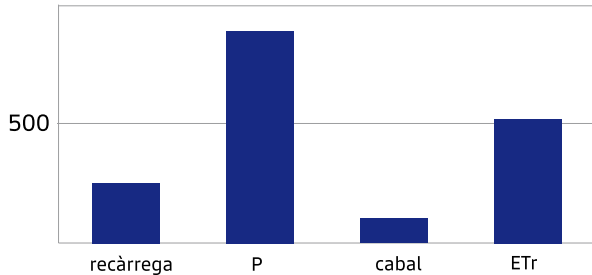


Figura 141. Fluvià: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050. En vermell el valor corresponent a la recàrrega històrica

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

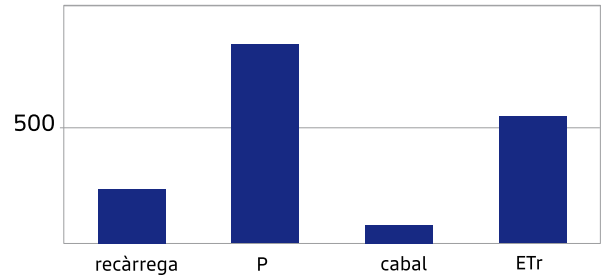


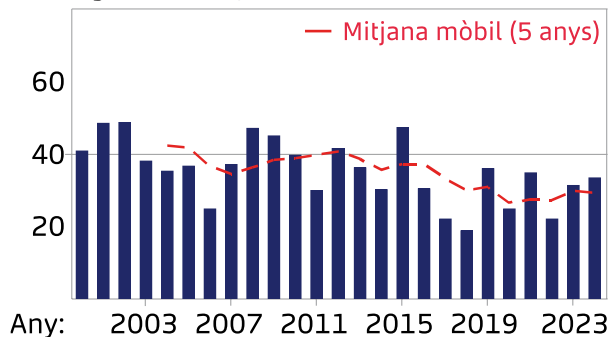
Figura 142. Fluvià: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

La disminució de la recàrrega per als primers 25 anys a la **Tordera** és del 9.5% amb alguns episodis superiors al valor històric sent del 14.3% per al període 2025-2050. S'observa poca variació dels paràmetres hidrològics en ambdós períodes. Els factors que condicionen la variabilitat de la recàrrega en les conques continuen sent els canvis futurs de temperatura i precipitació en les conques seleccionades. Els diversos usos del sòl

no semblen constituir un factor que condiciona la futura recàrrega.

Pel que fa a la variació de la recàrrega subterrània en el fluviodeltaic del curs mitjà i baix del riu Tordera, els canvis en el sistema per a l'escenari A2 es mostren en la Figura 145. El resum de la variació dels paràmetres del balanç es mostren a la Taula 59. Els resultats per a l'escenari A2 i el període 2000-

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050

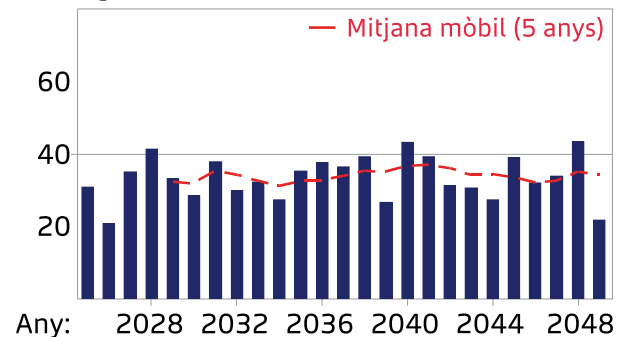
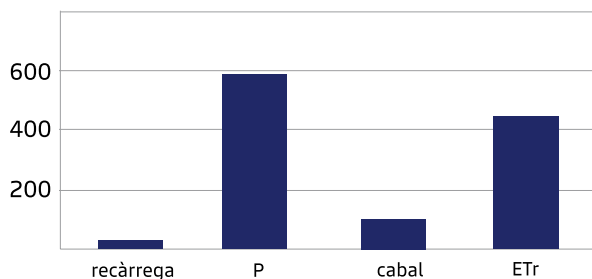


Figura 143. Tordera: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050. En vermell el valor corresponent a la recàrrega històrica

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

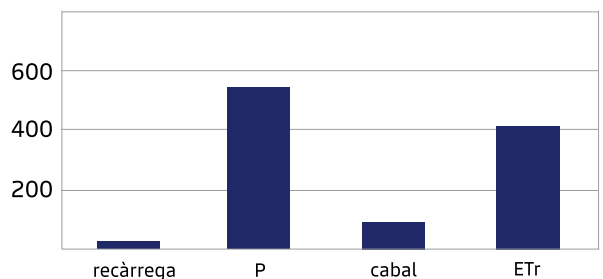


Figura 144. Tordera: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

	Recàrrega natural	Entrada riu	Sortida riu	Extracció pous	Entrada mar	Sortida mar	Emmagatzematge
Històric	16.3	35.2	-12.0	-43.7	8.3	-6.0	-1.02
2000-2050	14.2	35.7	-11.3	-43.3	8.4	-5.7	-1.01
%	-12.6	1.4	-6.2	-0.9	1.3	-5.3	-0.90

Taula 59. Resum de la variació dels paràmetres del balanç de l'aqüífer

2050 mostren que el factor més important que condiona l'emmagatzematge és la recàrrega, que disminueix en un 12% respecte el període històric. S'observa que augmenta lleugerament el valor de recàrrega pel riu i de la intrusió salina. La disminució dels bombaments pels pous es produïx tal vegada a causa d'un descens en el nivell piezomètric de l'aqüífer i en conseqüència una disminució de les extraccions. No obstant això, s'ha de destacar que els valors obtinguts se situen pròxims a l'error o la incertesa associada al càlcul, pel que el resultat ha de considerar-se indicatiu del possible canvi esperat.

La variació de la recàrrega per als primers 25 anys és un 10.3% inferior a l'històric de la conca del **Siurana**, sent del 17.2% per al període 2025-2050, amb una important variabilitat i certa ciclicitat. Igual que en la conca anterior, no sembla observar-se un efecte important dels usos del sòl en la recàrrega final per a les conques seleccionades.

Balanç de l'aqüífer del Tordera (Hm³/any). Període 2000-2050

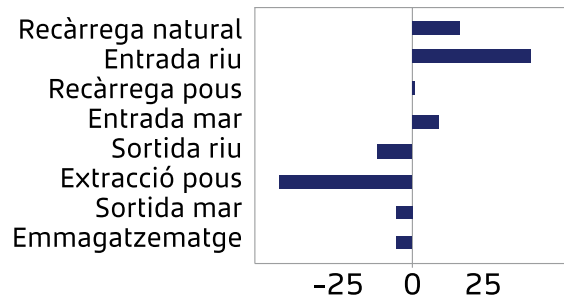


Figura 145. Balanç de l'aqüífer del Tordera per a l'escenari A2 i horitzó 2050

S'ha de destacar la importància dels recàrrega subterrània en aquesta conca, donada l'alta variabilitat de l'us recursos superficials com es comenta en l'apartat corresponent relatiu

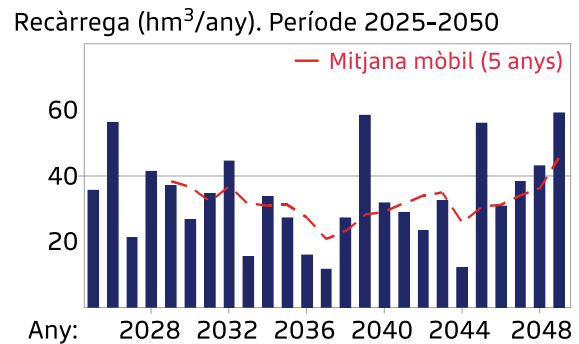
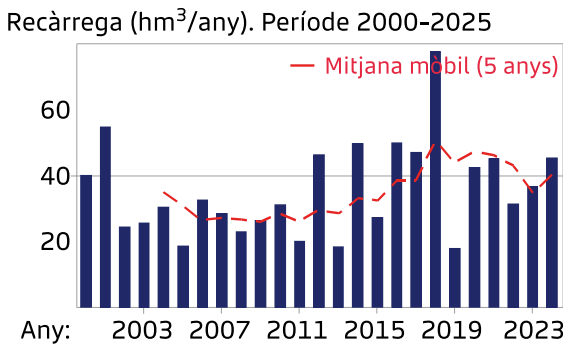
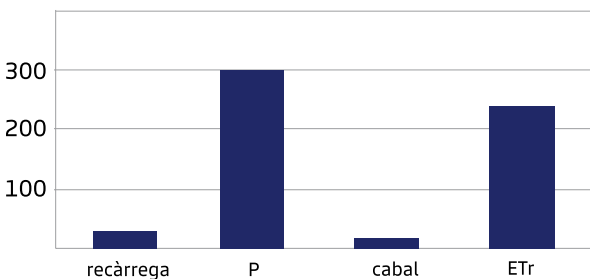


Figura 146. Siurana: Resultats de recàrrega anual per als períodes 2000-2025 i 2025-2050. En vermell el valor corresponent a la recàrrega històrica

Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2000-2025



Variació dels paràmetres (Hm³/any). Període 2025-2050

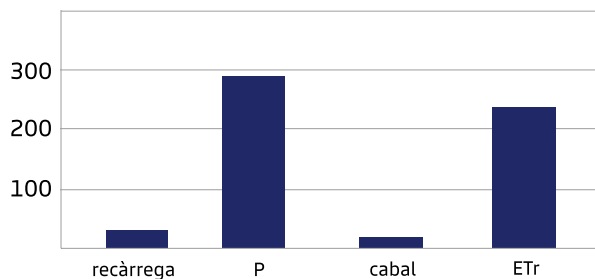


Figura 147. Tordera: Variació dels paràmetres del cicle hidrològic en els dos horitzons temporals definits.

a la hidrologia superficial. Donada la incertesa associada a aquesta conca, els valors numèrics obtinguts s'han de considerar com indicatius dels possibles canvis en els recursos hídrics.

Pel que fa als impactes generats en els escenaris combinats climàtic i socioeconòmics (tendencial sostenible) i la seva comparació amb les dades històriques els resultats s'han dibuixat en les figures de l'Annex 5. Es pot resumir que en totes les simulacions s'observa que els paràmetres més importants condicionant la recàrrega, tant històrica com futura, són sempre els valors meteorològics; la influència dels usos del sòl és pràcticament mínima.

3.5. Com seran els boscos?

Eduard Pla, Diana Pascual, Javier Retana, Jaume Terradas, Carles Gracia, Santi Sabaté, CREAL

3.5.1. Idoneïtat climàtica futura de les principals espècies forestals

A partir de l'aproximació adoptada a l'apartat 2.5.3, s'ha utilitzat el model BIOCLIM per determinar l'idoneïtat bioclimàtica de les principals espècies forestals presents a les conques d'estudi.

La idoneïtat climàtica d'un bosc es pot definir com el conjunt de característiques climàtiques que permeten que aquell bosc prosperi i es desenvolupi en un lloc concret. En un context de canvi climàtic, aquestes característiques podrien esdevenir en un futur menys adequades per a les comunitats actuals, fet que podria comprometre'n la viabilitat. Tot aprofitant les sèries climàtiques futures del SMC, es va analitzar la vulnerabilitat dels boscos actuals als efectes del canvi climàtic.

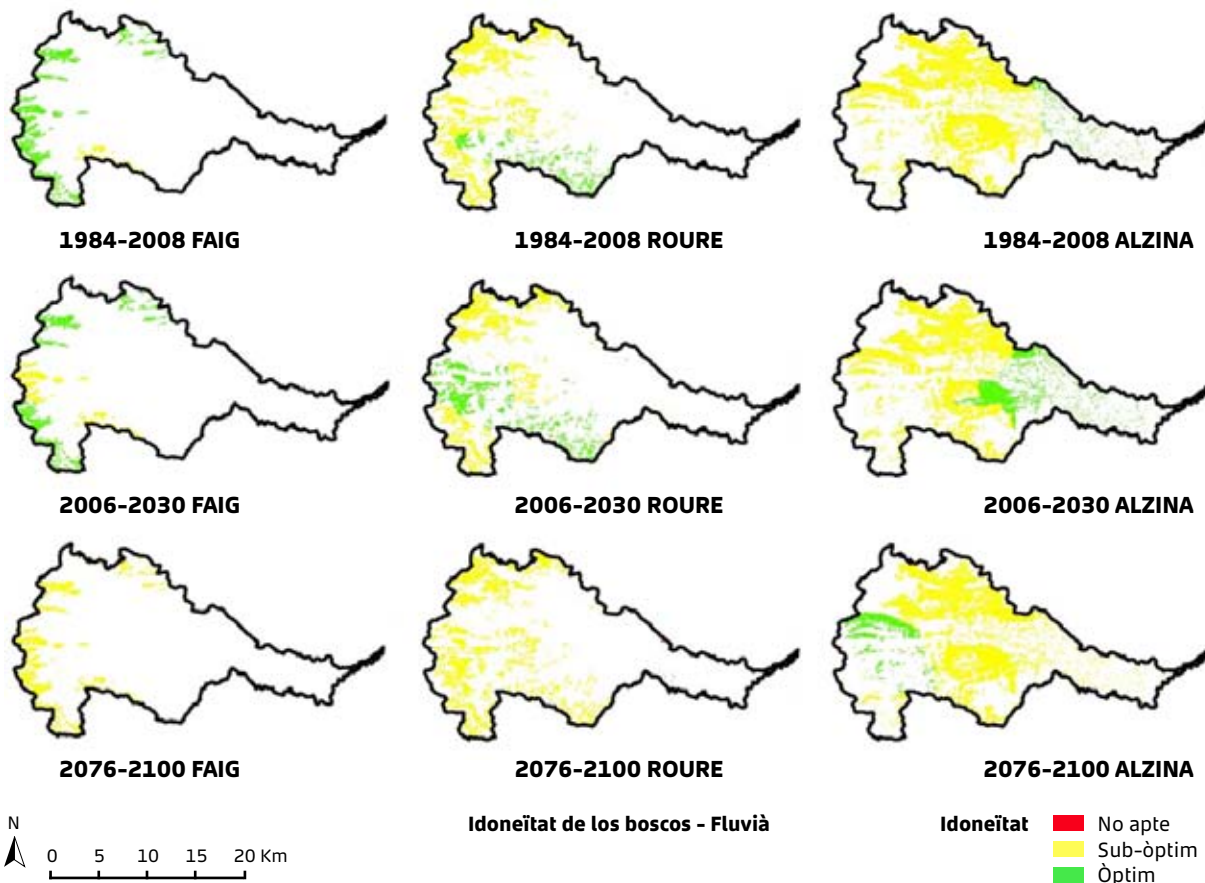


Figura 148. Mapes de distribució d'idoneïtat per les principals espècies de la conca del Fluvià a curt i llarg termini

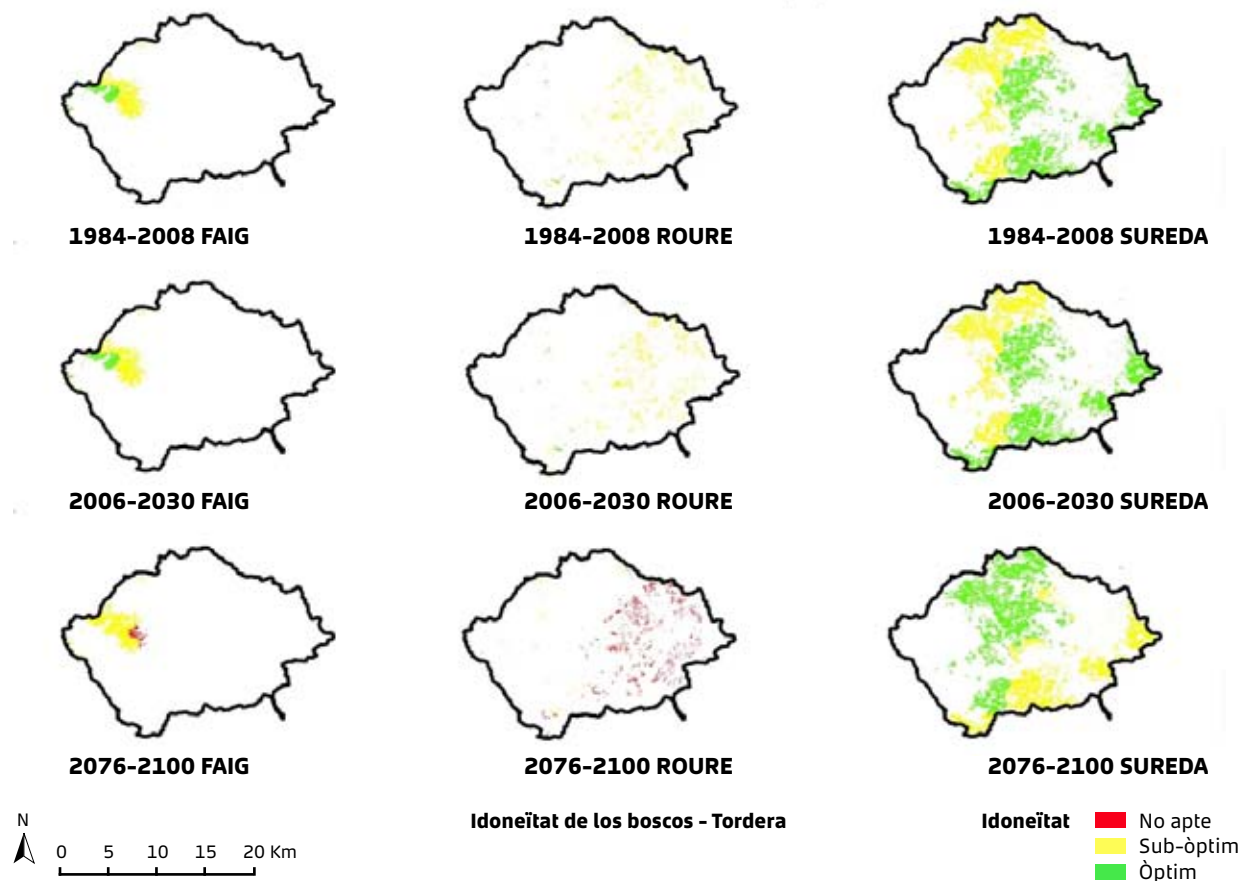


Figura 149. Mapes de distribució d'idoneïtat per les principals espècies de la conca de la Tordera a curt i llarg termini

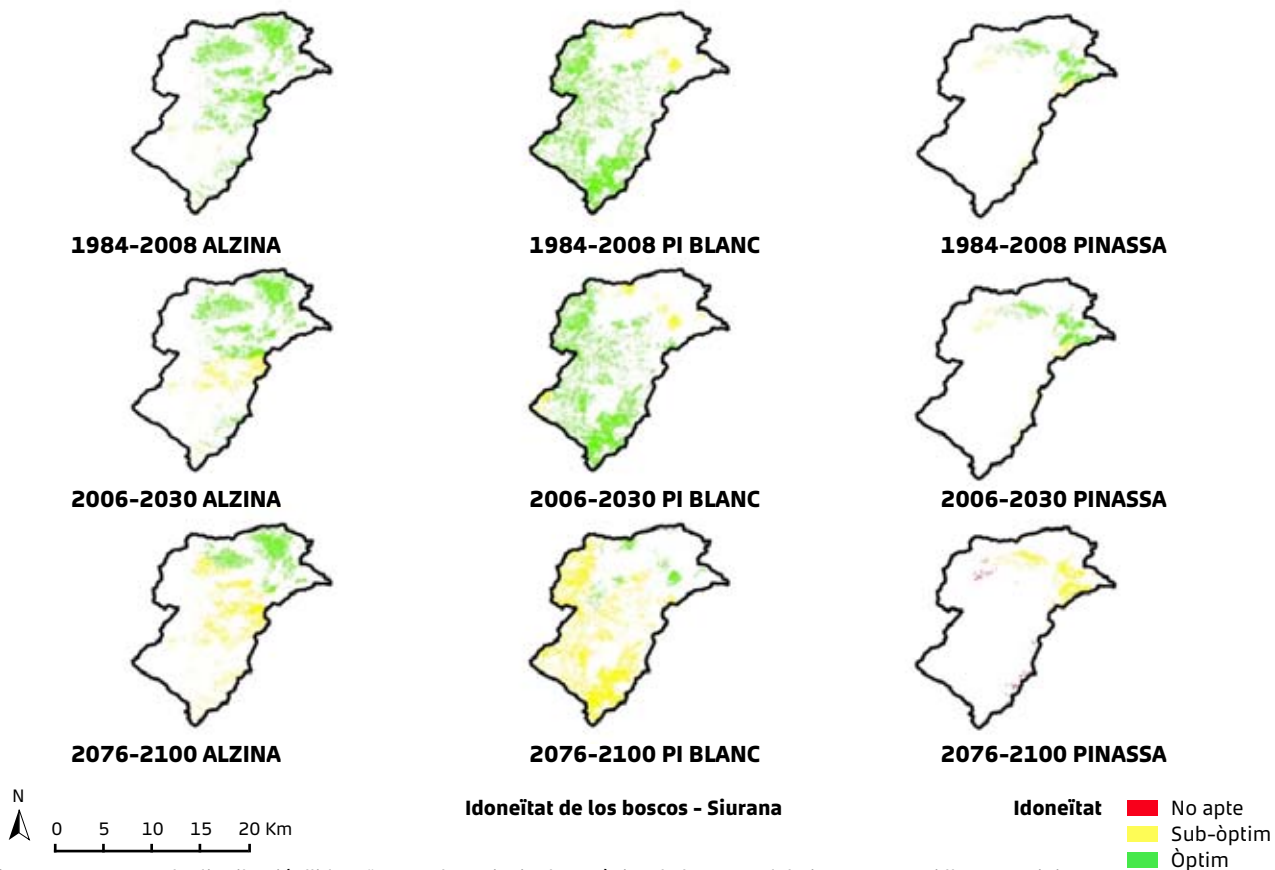


Figura 150. Mapes de distribució d'idoneïtat per les principals espècies de la conca del Siurana a curt i llarg termini

A partir de la localització actual de l'espècie i en funció d'una sèrie de variables explicatives, l'algoritme estima envoltants bioclimàtiques, és a dir, combinacions d'aquestes variables on estadísticament s'hi pot desenvolupar l'espècie, i classifica els punts en zones òptimes, subòptimes i no aptes per l'espècie estudiada. Com a variables explicatives s'han adoptat la precipitació mitjana anual i la temperatura mitjana del mes més fred. En aplicar el model a les condicions futures es poden representar canvis en la idoneïtat de totes les espècies d'arbres presents a les conques d'estudi (Figura 148, Figura 149, Figura 150).

Els resultats del model BIOCLIM mostren que les espècies pròpies de zones més humides que en l'actualitat es troben al seu òptim, com ara el faig (*Fagus sylvatica*), el roure martinenc (*Quercus humilis*) i el pi roig (*Pinus sylvestris*), a finals de segle es podrien trobar en condicions subòptimes. Aquestes mateixes espècies en zones actualment subòptimes podrien veure compromesa la seva viabilitat en un futur. Les espècies esclerofil·les i perennifòlies, com ara l'alzina (*Quercus ilex*) i el pi blanc (*Pinus halepensis*) passarien a trobar el seu òptim en zones de cotes més elevades.

3.5.2. Estat futur dels boscos

S'ha aplicat el model forestal funcional GOTILWA+ de cara a l'avaluació dels efectes del canvi climàtic sobre els boscos de les conques d'estudi. S'han dissenyat un seguit d'experiments de simulació a partir de l'aproximació definida a l'apartat 2.5.4. Un cop calibrat el model a partir de la intercomparació de models a cada conca amb les dades de referència, s'han plantejat un seguit d'experiments de simulació amb els dos escenaris climàtics plantejats a ACCUA.

Les simulacions s'han fet per cada estació del 3r Inventari Forestal Nacional (IFN3) present a cada conca (Fluvià 577 estacions, Tordera 566 estacions i Siurana 255 estacions).

Les projeccions climàtiques que s'han utilitzat són les proporcionades pel Servei Meteorològic de Catalunya (GCM ECHAM5 amb escenaris A2 i B1 amb regionalització dinàmica) corregides

per l'altitud per cada subconca. Les subconques coincideixen amb les definides en els exercicis hidrològics (SWAT). Les projeccions s'estenen des de 1984 fins a 2100.

L'estructura inicial del bosc prové de les estacions de l'IFN3 (mostreig 1997-2007).

Els tipus funcionals simulats són els dominants a cada estació (coníferes, caducifolis i esclerofil·les). Les dades del sòl han estat proporcionades per ETC/LUSI.

Les simulacions no han contemplat la gestió dels boscos, per tant, reproduïxen la dinàmica espontània del bosc i els episodis de mortalitat difusa i episòdica associada (autoaclurada).

Les variables analitzades en aquest treball han estat l'índex d'àrea foliar, l'evapotranspiració real, la producció primària neta, l'intercanvi net de carboni de l'ecosistema, la producció de fusta, l'aigua al sòl i el volum de fusta morta.

Si analitzem les tres conques, en el cas de les coníferes (Figura 151), podem apreciar el gradient latitudinal de condicions de creixement dels boscos i, alhora, com es veuen afectades al llarg del temps. En general, els boscos perden vigor en el seu creixement, tot i que la situació s'agreuja a finals de segle. Variables com la producció primària neta o la producció de fusta en són bons indicadors. L'intercanvi net de carboni de l'ecosistema està molt relacionat amb la dinàmica del carboni al sòl. Valors negatius indiquen captació neta de carboni atmosfèric i valors positius indiquen emissió. En general, la capacitat de segrestament de carboni dels boscos va disminuint al llarg del segle i a la segona meitat de segle boscos que fins aleshores eren captadors podrien passar a ser emissors. Aquest canvi de tendència ve determinat per la reducció de les taxes de fixació de carboni (en haver-hi menys aigua disponible) i un augment de les taxes de respiració (derivades de l'augment de la temperatura) el que ha de tenir com a conseqüència una reducció de l'efecte d'embornal dels boscos (Gracia *et al.* 2010). Boscos més frondosos i en indrets més humits (Fluvià i Tordera) es poden veure més afectats per aquesta dinàmica.

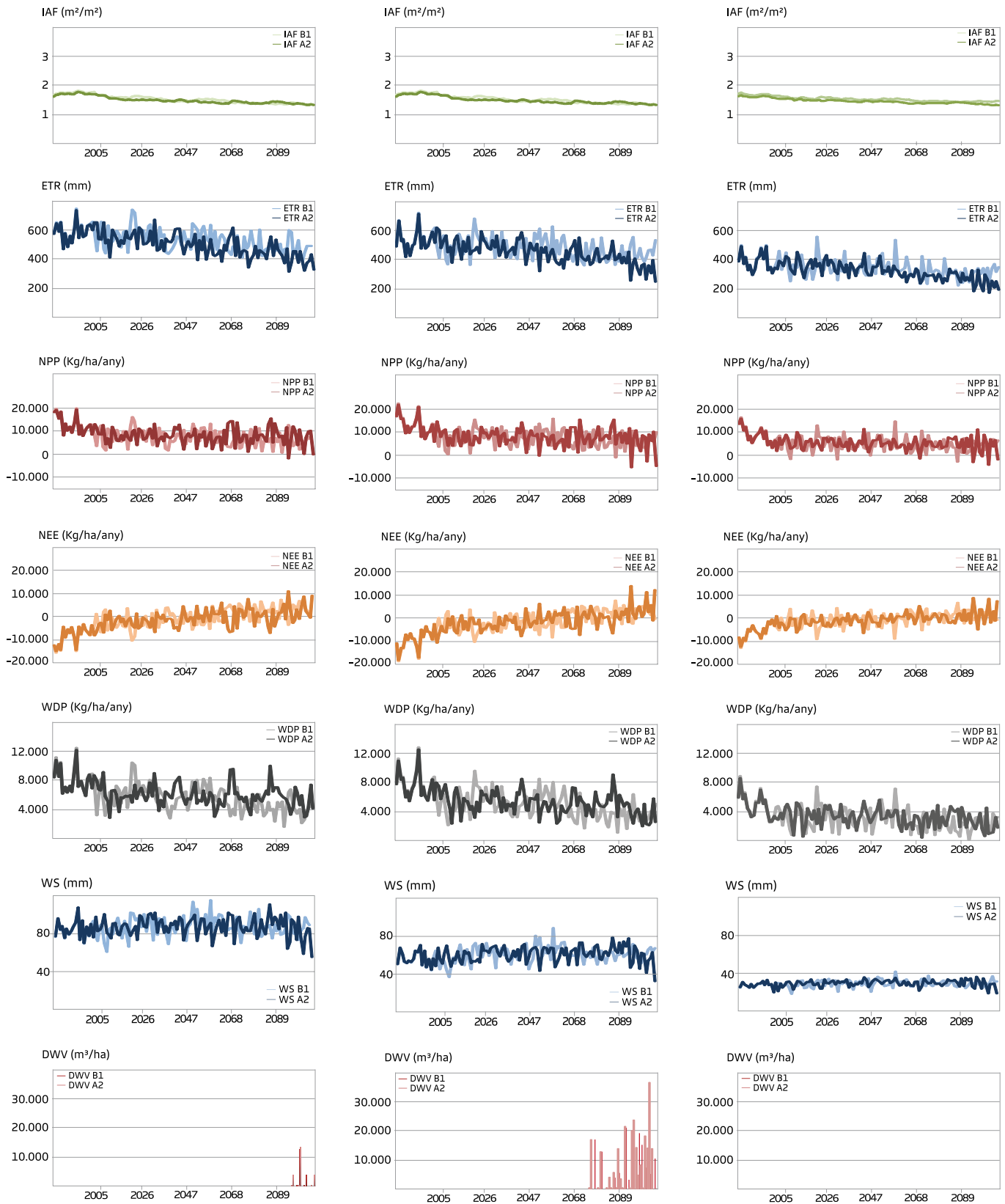


Figura 151. Resultats per a les espècies de coníferes presents a les tres conques per al període 1984-2100 i per a les següents variables: Índex d'Àrea Foliar (IAF), Evapotranspiració real (ETR), Producció Primària Neta (NPP), Intercanvi Net de Carboni de l'Ecosistema (NEE), Producció de Fusta (WDP), Aigua al Sòl (WS) i Volum de Fusta Morta (DWV).

Pel que fa a l'aigua al sòl mostra una elevada variabilitat i una forta davallada a finals de segle. Aquesta tendència és menys evident a la conca del Siurana, on la quantitat d'aigua emmagatzemada al sòl és molt baixa. L'evapotranspiració real mostra una caiguda sostinguda al llarg del període simulat i és una variable força integradora dels processos que s'estan donant al bosc, major aridesa però també una reducció de l'activitat fotosintètica.

La mortalitat, que apareix clarament reflectida a finals de segle, a la conca del Fluvià i, especialment, la Tordera és un indicador clar de la vulnerabilitat dels boscos. Contràriament, no han aparegut episodis de mortalitat al Siurana on sembla que les davallades en determinades variables no són tan severes que a les altres dues conques i, alhora, la vegetació pugui estar més adaptada a les condicions d'aridesa. Atenent a aquests resultats, semblaria que els boscos més vulnerables en el seu funcionament (episodis de mortalitat) serien aquells que es troben en condicions més humides actualment i que es mostren més sensibles a fluctuacions importants de les condicions ambientals. Aquest fet estaria en consonància amb els resultats obtinguts a les simulacions d'idoneïtat bioclimàtica.

3.5.3. Efectes de la gestió de boscos en el cicle hidrològic

S'han avaluat quins són els efectes de la gestió forestal en boscos afectats per un escenari de canvi climàtic, en la línia d'explorar la capacitat de la gestió forestal per amortir els impactes esperats.

Aprofitant la disponibilitat de projeccions climàtiques futures (SMC) i la base de sòls, s'han dissenyat un seguit d'experiments de simulació mirant d'avaluar l'efecte de la gestió sota unes condicions de canvi climàtic. L'alternativa a la gestió forestal ha estat l'absència de cap tipus de gestió, configurant-se coma escenari *Tendencial* en l'àmbit forestal

L'estructura del bosc inicial ha consistit en una estructura ideal i la gestió aplicada ha estat

definida a partir de les indicacions del Centre de la Propietat Forestal i el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Aquesta opció es configuraria com a escenari *Sostenible* en l'àmbit forestal.

S'han comparat els resultats de les simulacions amb gestió i sense gestió atenent a l'evapotranspiració real, el contingut d'aigua al sòl i l'escorrentia superficial i drenatge dels boscos de cada conca en boscos gestionats i no gestionats. Les anàlisis s'han fet per trams de subconca i amb espècies representatives i dominants a cada indret.

Els resultats s'han agregat i promitjat per diversos períodes simulats (Taula 60, Taula 61, Taula 62)

En general, la gestió aporta una lleu millora de les condicions hídriques de les masses forestals. Tanmateix, aquesta millora a nivell de coberta és transitòria perquè la recuperació de l'índex d'àrea foliar és molt ràpida i, per tant, de l'evapotranspiració. A nivell d'individu l'efecte de la gestió és més destacat perquè aquesta disminueix la competència entre individus per l'aigua (tot i que sumats acabin transpirant el mateix) i, per tant, de les condicions de creixement i robustesa dels arbres.

D'aquesta manera, cal esperar que la gestió, si bé té una capacitat limitada per millorar el balanç hídric del bosc, sí que en millora les condicions de creixement, reduint competència, millorant la salut i vigor dels arbres.

Contràriament, l'absència de gestió pot fer més vulnerables els boscos, més enllà de l'augment de risc d'incendi, sinó per l'afavoriment d'unes estructures i dinàmiques de creixement associades a l'afebliment de la massa, el risc de mortalitat i una sensibilitat major a patir malures.

Les tendències apuntades per aquests experiments de simulació cal que siguin validats amb dades observades i estudis observacionals que reproduïen sobre el terreny aquest tipus d'actuacions. En aquest sentit, cal aprofundir en la recerca d'aquest àmbit, més enllà de les hipòtesis formulades a partir de modelització.

CAPÇALERA FLUVIÀ. Escenari A2. Faig**EVAPOTRANSPIRACIÓ**

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
ETR anual (mm/any)	349.2	371.8	380.1	403.9	369.1
SENSE GESTIÓ					
ETR mensual (mm/mes)	342.7	369.6	379.4	403.7	378.5
<i>% canvi per gestió</i>	1.9	0.6	0.2	0.1	-2.5

AIGUA AL SÒL

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
WS (mm)	96.3	94.9	96.7	86.9	78.9
SENSE GESTIÓ					
WS (mm)	93.1	90.4	92.1	84.7	80.2
<i>% canvi per gestió</i>	3.5	4.9	5.0	2.5	-1.6

ESCORRENTIA + DRENATGE

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	830.2	699.7	715.0	618.3	511.9
SENSE GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	837.1	701.7	715.5	618.2	502.3
<i>% canvi per gestió</i>	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	1.9

Taula 60. Resultats d'evapotranspiració real, contingut d'aigua al sòl i escorrentia superficial drenatge de les fagedes a la capçalera del Fluvià en boscos gestionats i no gestionats. S'hi mostren els resultats promitjats per períodes al llarg de la simulació.

TRAM MIG TORDERA. Escenari A2. Alzina**EVAPOTRANSPIRACIÓ**

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
ETR anual (mm/any)	591.5	555.3	544.2	505.2	454.9
SENSE GESTIÓ					
ETR mensual (mm/mes)	593.1	553.4	545.5	504.3	452.9
<i>% canvi per gestió</i>	-0.3	0.3	-0.2	0.2	0.5

AIGUA AL SÒL

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
WS (mm)	76.7	79.0	78.9	75.6	68.6
SENSE GESTIÓ					
WS (mm)	75.3	73.2	73.4	70.7	63.8
<i>% canvi per gestió</i>	1.9	7.9	7.6	6.9	7.6

ESCORRENTIA + DRENATGE

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	195.6	146.5	181.5	180.9	121.4
SENSE GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	194.2	147.8	179.8	181.6	122.9
% canvi per gestió	0.7	-0.9	0.9	-0.4	-1.2

Taula 61. Resultats d'evapotranspiració real, contingut d'aigua al sòl i escorrentia superficial drenatge dels alzinars del tram mig de la Tordera en boscos gestionats i no gestionats. S'hi mostren els resultats promitjats per períodes al llarg de la simulació.

CAPÇALERA SIURANA. Escenari A2. Alzina**EVAPOTRANSPIRACIÓ**

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
ETR anual (mm/any)	449.0	434.6	419.3	387.5	352.0
SENSE GESTIÓ					
ETR mensual (mm/mes)	450.7	438.5	422.4	387.1	352.9
% canvi per gestió	-0.4	-0.9	-0.7	0.1	-0.3

AIGUA AL SÒL

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
WS (mm)	59.1	60.9	61.1	57.9	54.6
SENSE GESTIÓ					
WS (mm)	58.5	58.6	58.2	54.6	51.6
% canvi per gestió	1.2	4.0	5.1	5.9	5.7

ESCORRENTIA + DRENATGE

Promig	1984-2008	2006-2030	2026-2050	2051-2075	2076-2100
GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	250.5	209.4	208.8	213.5	173.8
SENSE GESTIÓ					
Runoff + drenatge (mm/any)	248.8	205.1	205.5	213.8	172.4
% canvi per gestió	0.7	2.1	1.6	-0.2	0.8

Taula 62. Resultats d'evapotranspiració real, contingut d'aigua al sòl i escorrentia superficial drenatge dels alzinars a la capçalera del Siurana en boscos gestionats i no gestionats. S'hi mostren els resultats promitjats per períodes al llarg de la simulació.

3.5.4. Risc d'incendi futur

En aquest apartat hem estès l'anàlisi feta en la caracterització del bosc actual adoptant l'índex Drought Code (DC), del Canadian Forest Fire Weather Index System, i aplicant l'algoritme de

càlcul amb les projeccions de canvi climàtic (SMC). Els resultats (Figura 152) mostren aquesta tendència creixent a l'augment de dies amb risc extrem, especialment rellevant en les condicions de finals de segle.

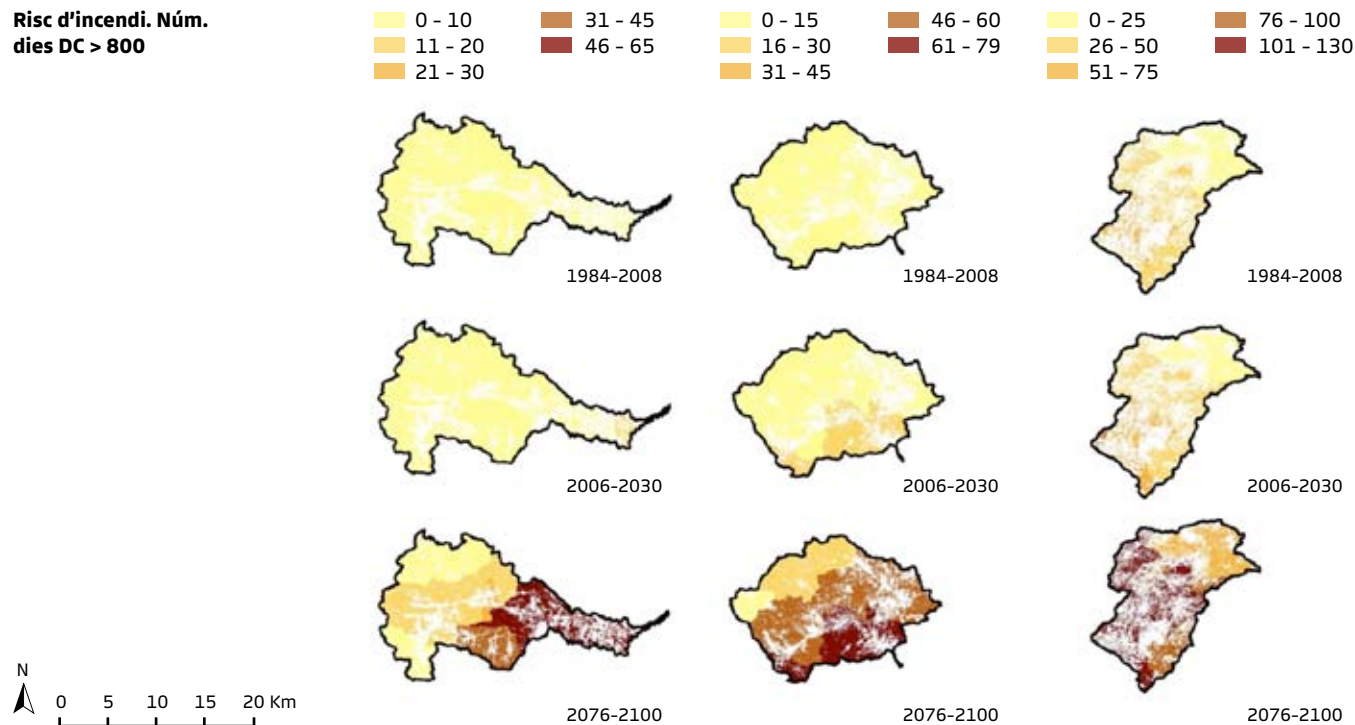


Figura 152. Distribució del número de dies a l'any amb risc meteorològic d'incendi a curt i llarg termini.

3.6. Com seran els conreus?

Robert Savé, Felicidad de Herralde, Xavier Aranda i Carmen Biel. IRTA, Programa Horticultura Ambiental, Subprograma d'Ecofisiologia.

D'aquesta previsible realitat que ens afectarà en els propers anys cal matisar-la pel possible canvi climàtic i pel real canvi global que ens afecta i/o afectarà d'una manera important des de ja mateix. Així podem preveure que de l'actual consum del 70% de tota l'aigua blava (dolça superficial de fàcil adquisició) disponible, emprada per l'agricultura, aquesta activitat requerirà un increment d'aproximadament un 12% cap l'any 2040, donada la major demanda d'aliments per part de la població (Borràs et al. 2009). Aquesta població s'urbanitzarà més passant d'esser el 40% a un 60%, la que viurà en grans àrees metropolitanes, amb el conseqüent increment de demanda d'aigua. A tot aquest increment de població fixa, cal afegir la flotant, el turisme.

El potencial canvi climàtic atribuïble al canvi global, pot augmentar la temperatura local i general (IPCC, 2007). Aquests canvis anuals en la temperatura poden tenir gran influència en el balanç de carboni atmosfèric (Valentini et al., 2000). Aquest augment no serà el mateix a tot el món (IPCC 2004), sembla que serà més pronunciat a la conca de la Mediterrània (Piñol et al, 1998.). D'acord amb les prediccions més pessimistes, la temperatura de l'aire en aquesta àrea pot augmentar fins a 4 °C i la precipitació mitjana anual pot tenir una disminució del 10 al 40% en els últims anys del segle XXI (Rosenzweig i Tubiello, 1997).

Tanmateix, els ambients mediterranis es caracteritzen per doble estrès ambiental (Terradas i Savé 1992): A l'estiu, la disponibilitat hídrica del sòl baixa, juntament amb un alt dèficit de pressió de vapor a nivell atmosfèric generant inhibicions en el creixement de les plantes i diferents efectes en el seu desenvolupament, com canvis en la forma i la mida de les fulles i cobertes, en la fenologia, en

la distribució de la biomassa, etc (Savé et al., 1999). Tot i el valor dels diferents components del canvi global (usos del sòl, canvi climàtic, la distribució de la població, invasió, etc), l'important realment, és la seva sequera integral.

Projeccions derivades de diferents models per generar escenaris de canvi climàtic mostren que els països centreamericans i les regions mediterrànies es veuran afectades pels períodes de sequera de la meitat de la longitud (4-6 mesos) i llarg (més de 12 mesos), que serà 3 vegades i 8 més freqüent que en l'actualitat (Sheffield and Wood 2008).

Les plantes són afectades per l'estrès, però no totes són vulnerables a aquest (Larcher 1980, 1995; Levitt, 1980).

El canvi global és la combinació de moltes tensions en el mateix espai i al mateix temps, que pot causar efectes sinèrgics sobre la vegetació, en els cultius, als jardins, etc (Llebot et al 2010; Terradas 2010).

De tot això es poden apuntar com **vulnerabilitats de l'agricultura Mediterrània en el nostre país:**

- **La disponibilitat d'aigua** real (quantitat d'aigua emmagatzemada) o conjuntural (preu de l'aigua d'acord al cost en diners i/o despesa mediambiental).
- **La qualitat de l'aigua disponible**, ja que aquesta, a part dels clàssics problemes associats a la salinitat i/o desequilibri de nutrients, pot presentar problemes microbiològics i els associats a nous contaminants (antibiòtics, pesticides, tensioactius, fàrmacs en general,...).
- **El canvi de conreus** cercant una major rendibilitat (agricultura de primor, conreus energètics, canvis de gustos en la població, canvis associats a les migracions, conreus emmagatzemadors de carboni,...).
- **El manteniment d'activitats i els seus paisatges associats**, com pot ésser el cas de la vinya i molt especialment el d'àrees de climatologia extrema (ex. Priorat) o dels tarongers (en àrees potencialment inundables del País Valencià).
- **La potencial reconversió de part del sector ramader en agrícola**, donada una marcada pressió mediambiental (es requereix unes deu vegades més aigua per produir un kg de carn que el mateix pes de cereal; el nivell

de contaminació de les aigües associada a l'activitat ramadera intensiva és molt elevada com mostra el mapa de vulnerabilitat per nitrats i purins de Catalunya).

- **La necessitat social de verd**, tant pel que fa referència a la higiene de la població, entesa en un sentit ampli, com per a potenciació del sector turístic, la jardineria i la restauració del paisatge esdevenen i esdevindran, àrees de forta activitat agrícola.

Com a conclusions, a part de les pròpies de cada conreu, especificades en les fitxes corresponents (apartat següent) a conca/conreu, es pot dir que a nivell de Catalunya es disposa de poca i fragmentada informació del paper de l'agricultura com regulador dels cicles hidroecològics de l'aigua i nutrients, així com del seu paper com embornal de carboni, tant en les condicions actuals i en les que previsiblement se'n derivaran del canvi global, del canvi climàtic.

Cal incrementar el coneixements de base i la seva potencial aplicabilitat en el sector agrícola, perquè les vulnerabilitats ho siguin sobretot a nivell potencial i per fer que l'agricultura gestioni grans cicles com són el de l'aigua i el del carboni, amb una mentalitat i visió ecològica, que permeti integrar aquest sector en el paisatge d'una manera activa.

4. Vulnerabilitats i mesures d'adaptació

4.1. Vulnerabilitats

Aquests són els resultats més rellevants del projecte, pel que fa a identificació de vulnerabilitats territorials:

- Es preveuen reduccions generalitzades dels cabals el 2030 d'entre un 10 i un 20%, més severes a l'A2, que esdevenen molt severes a finals de segle, arriben fins a un 50%.
- Al Fluvià i la Tordera, els efectes provocats pel canvi del clima són més rellevants que els dels canvis d'ús del sòl i les demandes d'aigua, que tenen un impacte global menor.

- Al Siurana, l'increment de les demandes associades als canvis d'ús del sòl agrícola (regadiu) poden amplificar l'efecte del canvi climàtic pel que fa als recursos disponibles.
- A llarg termini, s'espera que l'augment de la vulnerabilitat del bosc i l'eventual disminució de la coberta boscosa per incendis provoqui un règim de cabals més incert, amb més irregularitat i més episodis extrems.
- Al Fluvià i Tordera, les reduccions de cabals més severes es produiran a la capçalera.
- Els canvis previstos en l'estacionalitat dels cabals poden provocar reduccions de recursos hídrics disponibles. A més poden tenir implicacions importants sobre els sistemes naturals, agrícoles i urbans.
- Alhora, es preveuen reduccions generalitzades en la recàrrega als aqüífers.
- A final de segle, s'incrementaria el nombre de dies amb un cabal inferior al de manteniment, recomanat per al funcionament dels ecosistemes fluvials.
- A final de segle, es reduiria l'evapotranspiració real, és a dir, la quantitat d'aigua que s'evapora i la que transpira la vegetació, per disminució de la disponibilitat d'aigua emmagatzemada al sòl.

Bosc...

- Es preveuen canvis en la idoneïtat bioclimàtica de les espècies actuals. Així, espècies pròpies de zones humides (faig, roure, pi roig, etc), que actualment es troben en les seves zones òptimes, es trobarien en condicions de desenvolupament subòptimes.
- Les mateixes espècies que actualment es troben en zones subòptimes podrien veure compromesa la seva viabilitat.
- Les espècies esclerofil·les i perennifòlies (alzina, pi blanc) trobarien el seu òptim en zones cada cop més elevades.
- A les conques humides, els descensos d'aigua al sòl són molt rellevants.
- Al Siurana no s'observen canvis significatius de l'aigua al sòl ja que es tracta de boscos molt limitats per la disponibilitat d'aigua en l'actualitat.
- Aquests canvis afectaran el funcionament dels boscos i la seva estructura. S'espera una disminució en la productivitat i en la capacitat d'emmagatzematge de carboni, més rellevant en boscos humits que en els boscos d'ambients

més secs. En general, s'espera un augment en la freqüència i intensitat dels episodis de mortalitat, amb una afectació major dels boscos més sensibles de zones humides.

- Les conseqüències sobre el paisatge d'aquests impactes no s'han avaluat en aquest projecte però es poden apuntar substitucions d'espècies en determinats indrets i un progressiu pas de bosc a matollar en les zones més àrides.
- L'augment del risc d'incendi pot agreujar la vulnerabilitat dels boscos.
- El mateix pot passar amb l'augment de les afeccions per plagues i malures als boscos més fràgils i la introducció de noves plagues (fongs, insectes, etc.) d'origen tropical.

Conreus...

- Molts conreus augmentaran les necessitats de reg que, a més, s'haurà de distribuir en un període de temps més llarg per tal de mantenir les produccions actuals.
- Alhora, els canvis fenològics esperats poden comportar un avançament de l'inici del període vegetatiu i una reducció del temps necessari per completar el cicle vital, així com canvis en la maduració i desacoblament en la fecundació.
- Al Siurana, la vinya es mostra menys vulnerable que l'olivera als canvis esperats.

Població...

Tot i que els impactes sobre la població no han estat objecte directe d'estudi a ACCUA, podríem preveure, a partir de les projeccions climàtiques:

- Un augment del risc de mortalitat humana estival associada a les elevades temperatures, sobretot a les ciutats.
- Una reducció del risc de mortalitat a l'hivern.
- Un augment de les demandes d'aigua futures en tots els usos, condicionat principalment per l'augment de la població i de l'activitat econòmica, tot i que, en general, s'espera un major nivell d'eficiència en tots els sectors.
- Un increment del risc de la introducció de vectors de malalties tropicals i de les pròpies malalties.
- Malgrat existir una elevada incertesa, els fenòmens extrems, com grans inundacions, onades de fred o de calor, nevades, tempestes violentes, etc. podrien augmentar la vulnerabilitat de la població. Alhora, l'impacte d'aquests fenòmens

extrems en un nou context climàtic pot determinar que el període de recuperació dels sistemes naturals sigui més llarg.

- Un augment elevat del risc d'afectació de béns i persones a causa de l'increment del risc d'incendi.

En resum...

La disminució de la disponibilitat d'aigua en el futur serà rellevant, com s'espera en la major part de la Conca Mediterrània, però amb sensibilitats diferencials en cadascuna de les àrees d'estudi i en els diferents àmbits estudiats (masses d'aigua, boscos, agricultura, usos urbans, etc).

Així, a les conques més humides, especialment a les seves capçaleres, és on es detecten els efectes més importants. A la conca del Siurana, les pressions climàtiques poden veure's amplificades especialment pels canvis d'usos del sòl. Els boscos són l'àmbit que es presenta potencialment més vulnerable, ja sigui per l'augment de l'estrès hídric, pels canvis en la idoneïtat bioclimàtica de les espècies o pel creixent risc d'incendi. L'agricultura es pot veure afectada si no s'adapten els conreus a les noves necessitats, sobretot en aspectes relacionats amb la fenologia i l'eficiència en l'ús de l'aigua. En general, els resultats apunten cap a canvis graduals a curt termini (10-15 anys vinents) que s'acceleren a mig-llarg termini, tot i l'elevada incertesa en la irrupció d'eventuals episodis extrems que poden interferir aquestes tendències. En aquesta finestra temporal és on s'han de prioritzar les mesures d'adaptació que es proposen a ACCUA.

4.2. Fitxes de vulnerabilitats i mesures d'adaptació

Per tal de resumir les **vulnerabilitats** detectades a cada conca i àmbit analitzat i suggerir opcions d'adaptació s'han dissenyat unes fitxes resum que contemplin:

- Pressions esperades
- Impactes previstos
- Vulnerabilitats a curt-mig i llarg termini
- Mesures d'adaptació

FLUVIÀ

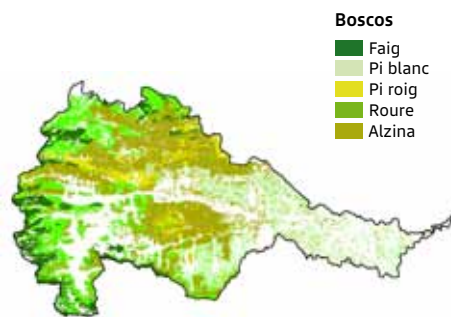
Bosc

escenari climàtic A2 smc

sense escenari socioeconòmic

Cobertes arbòries de la conca

El **77,3%** de la conca del Fluvià està ocupat per **bosc** (MCSC 2005)



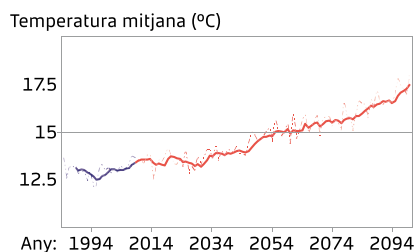
1 Pressions

Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,5°C**

Període 2076-2100: **3,5°C**

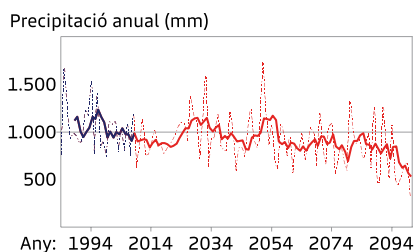


Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,6%**

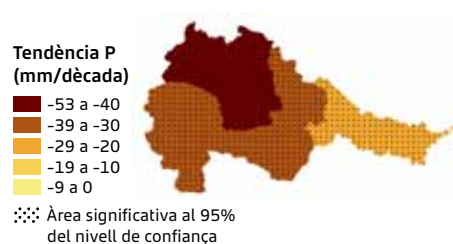
Període 2076-2100: **-28,1%**



Variació espacial de la precipitació

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació més severes i significatives s'esperen a la **capçalera**



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **734,4 mm**

Incrementos previstos:

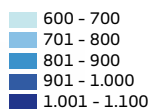
Període 2006-2030: **2,5%**

Període 2076-2100: **16,8%**

1984-2008



ETP (mm)



2006-2030



2076-2100



Evapotranspiració real (ETr)

Període 1984-2008: **527,5 mm**

Reduccions previstes:

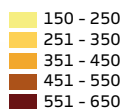
Període 2006-2030: **-1,7%**

Període 2076-2100: **-12,6%**

1984-2008



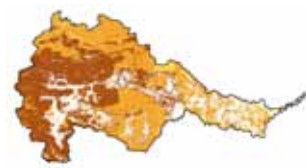
ETr (mm)



2006-2030



2076-2100



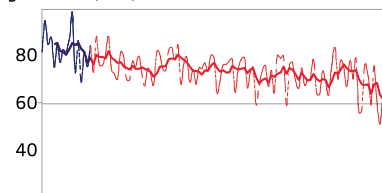
Quantitat d'aigua al sòl

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-7,1%**

Període 2076-2100: **-17,9%**

Aigua al sòl (mm)



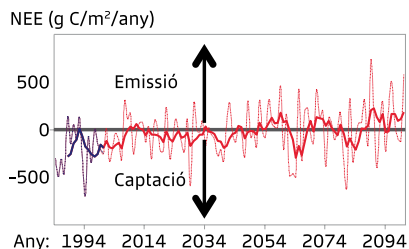
Any: 1994 2014 2034 2054 2074 2094

L'augment de la temperatura provoca un increment en la demanda evaporativa de les plantes. La disminució de la precipitació té un efecte directe sobre la quantitat d'aigua disponible al sòl. L'evapotranspiració real, definida com la quantitat d'aigua que realment s'evapora en condicions normals i que depèn de l'aigua disponible al sòl i de la coberta vegetal, disminueix a mesura que hi ha menys aigua al sòl.

3 Vulnerabilitats

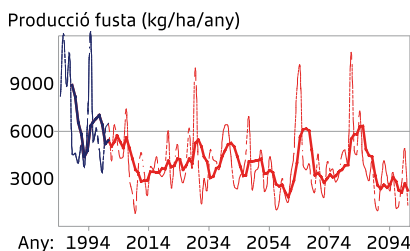
Intercanvi de carboni als boscos. Comportament previst:

Període 2006-2030: Els boscos seguiran actuant com a **captadors** de carboni. **Període 2076-2100:** Alguns boscos podrien actuar com a **emissors de carboni**, especialment **els més humits**.



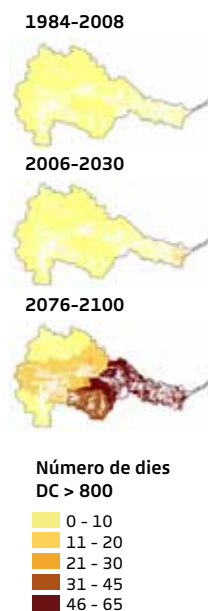
Producció de fusta

Comportament previst: Elevada variabilitat futura, altament dependent de la precipitació, però amb **tendència al decreixement**.



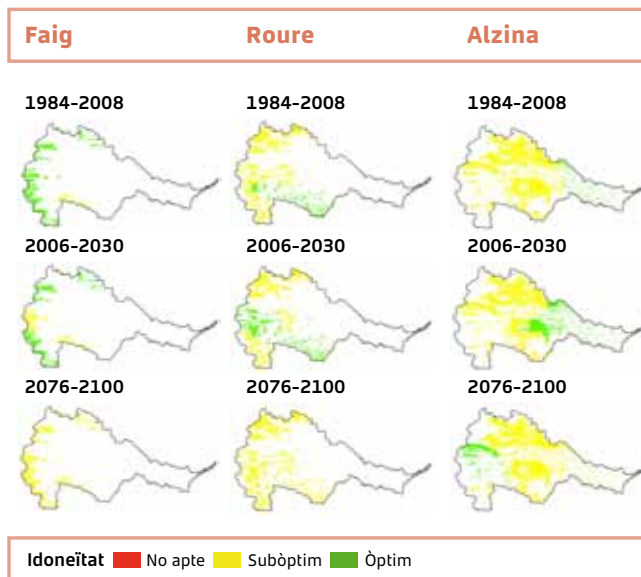
Risc d'incendi

Període 1984-2008: **uniforme**
Comportament previst:
Període 2006-2030: **Es duplica** el nombre de dies amb **risc extrem** a la part baixa del Fluvià.
Període 2076-2100: Fins a **64 dies anuals** amb **risc extrem** a la part final del Fluvià.



Idoneïtat climàtica de les espècies

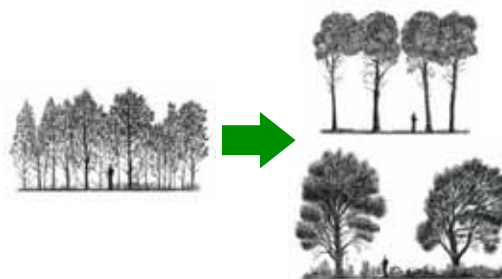
Comportament previst:
Període 2006-2030: Els **caducifolis** (faig, roure, ...) es **mantenen** en zones òptimes i s'estenen cap a **zones més elevades**. Les **esclerofil·les i perennifòlies** (sureda, alzina,...) **estenen** el seu òptim cap a zones més elevades.
Període 2076-2100: Les **zones òptimes dels caducifolis** tendeixen cap a condicions **subòptimes**. Les **esclerofil·les i perennifòlies desplacen** el seu òptim cap a **zones més elevades**.



4 Adaptacions

Gestió forestal orientada cap a estructures més sanes, més resistents al foc i amb menys estrès hídric

- 1 Espècies **més vulnerables** que s'haurien de **gestionar prioritàriament** per garantir la seva viabilitat:
 - Castanyer i faig als trams mitjos i baixos
 - Roure i castanyer als trams baixos
- 2 **Reduir densitats** i potenciar estructures amb **arbres grans** a través de la gestió
- 3 Després d'una pertorbació, identificar espècies sensibles i **potenciar** aquelles **espècies més resistents a les noves condicions**.
- 4 Recuperació i manteniment del **mosaic agroforestal**



5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, ... Els resultats reflecteixen els efectes de canvis graduals més que no pas esdeveniments extrems.

TORDERA

Bosc

escenari climàtic A2 smc sense escenari socioeconòmic

Cobertes arbòries de la conca
 El **80,6%** de la conca del Tordera està ocupat per **bosc** (MCSC 2005)



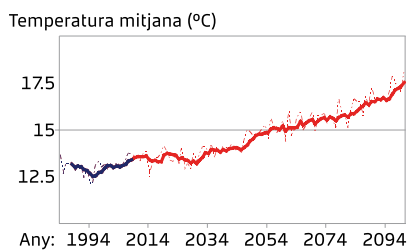
1 Pressions

Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,3°C**

Període 2076-2100: **3,4°C**

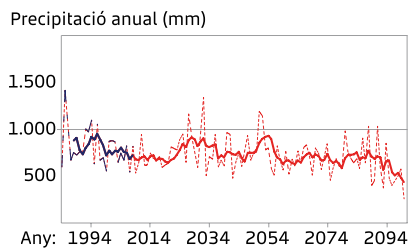


Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,3%**

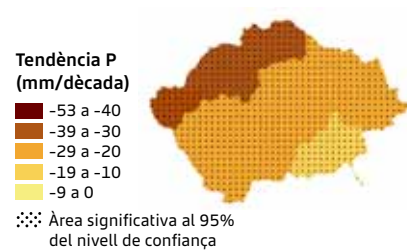
Període 2076-2100: **-24,3%**



Variació espacial de la precipitació

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació més severes i significatives s'esperen a la **capçalera**



2 Impactes

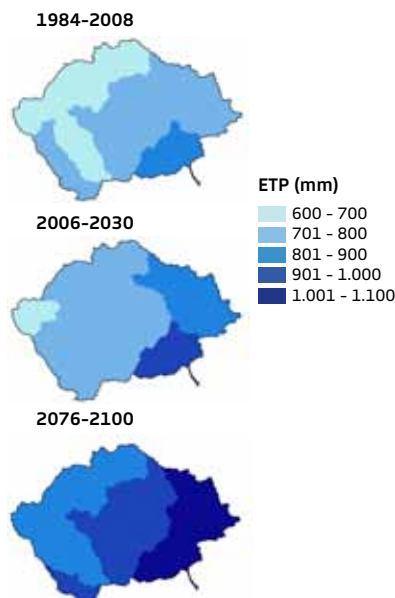
Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **810,8 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **1,8%**

Període 2076-2100: **15,7%**



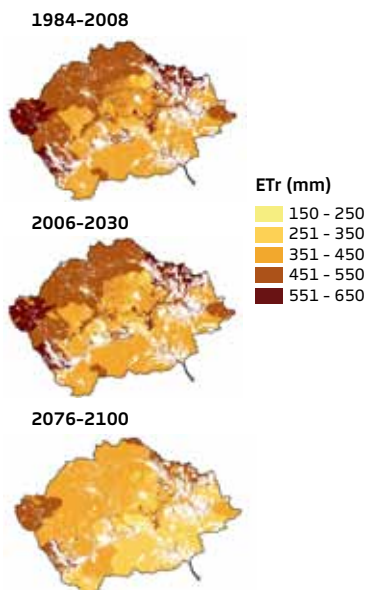
Evapotranspiració real (ETr)

Període 1984-2008: **457,0 mm**

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-2,9%**

Període 2076-2100: **-19,5%**

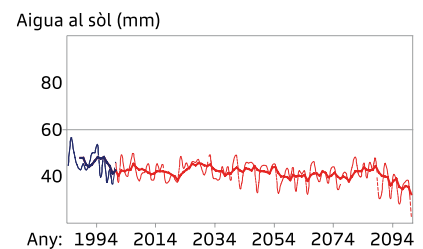


Quantitat d'aigua al sòl

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-5,4%**

Període 2076-2100: **-14,5%**

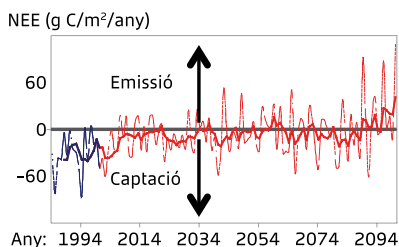


L'augment de la temperatura provoca un increment en la demanda evaporativa de les plantes. La disminució de la precipitació té un efecte directe sobre la quantitat d'aigua disponible al sòl. L'evapotranspiració real, definida com la quantitat d'aigua que realment s'evapora en condicions normals i que depèn de l'aigua disponible al sòl i de la coberta vegetal, disminueix a mesura que hi ha menys aigua al sòl.

3 Vulnerabilitats

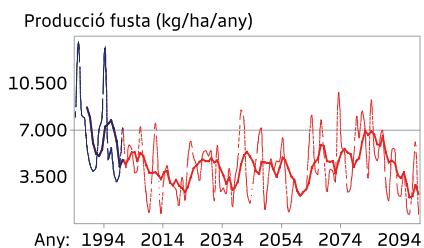
Intercanvi de carboni als boscos. Comportament previst:

Període 2006-2030: Els boscos seguiran actuant com a **captadors** de carboni. **Període 2076-2100:** Alguns boscos podrien actuar com a **emissors de carboni**, especialment **els més humits**.



Producció de fusta

Comportament previst: Elevada variabilitat futura, altament dependent de la precipitació, però amb **tendència al decreixement**.



Risc d'incendi

Període 1984-2008:

uniforme

Comportament previst:

Període 2006-2030:

Es duplica el nombre de dies amb **risc extrem** a la part baixa de la Tordera. **Període 2076-2100:** Fins a **79 dies anuals** amb **risc extrem** a la part final de la Tordera.

1984-2008



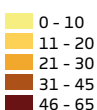
2006-2030



2076-2100



Número de dies DC > 800



Idoneïtat climàtica de les espècies

Comportament previst:

Període 2006-2030: Totes les espècies es **mantenen** en zones òptimes i subòptimes.

Període 2076-2100: Les **zones òptimes dels caducifolis** (faig, roure,...) passaran a ser **subòptimes**, i els caducifolis que ara es troben en zones **subòptimes poden desaparèixer**. Les **esclerofil·les i perennifòlies** (sureda, alzina,...) **desplaçaran** el seu òptim cap a **zones més elevades**.

Faig

Roure

Sureda

1984-2008



1984-2008



1984-2008



2006-2030



2006-2030



2006-2030



2076-2100



2076-2100



2076-2100

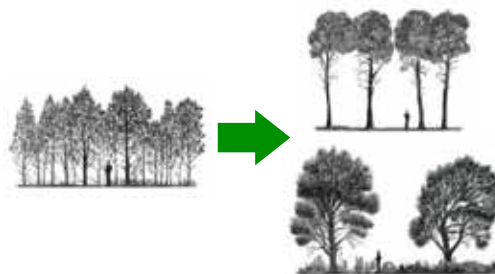


Idoneïtat ■ No apte ■ Subòptim ■ Òptim

4 Adaptacions

Gestió forestal orientada cap a estructures més sanes, més resistents al foc i amb menys estrès hídric

- 1 Espècies **més vulnerables** que s'haurien de **gestionar prioritàriament** per garantir la seva viabilitat:
 - Castanyer i faig als trams mitjos i baixos
 - Roure i castanyer als trams baixos
- 2 **Reduir densitats** i potenciar estructures amb **arbres grans** a través de la gestió
- 3 Després d'una pertorbació, identificar espècies sensibles i **potenciar** aquelles **espècies més resistents a les noves condicions**.
- 4 Recuperació i manteniment del **mosaic agroforestal**



5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, ... Els resultats reflecteixen els efectes de canvis graduals més que no pas esdeveniments extrems.

SIURANA

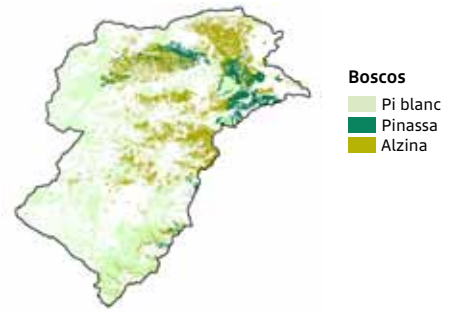
Bosc

escenari climàtic A2 smc

sense escenari socioeconòmic

Cobertes arbòries de la conca

El **76,1%** del Siurana està ocupat per **bosc**, incloent els **matollars** (MCSC 2005)



1 Pressions

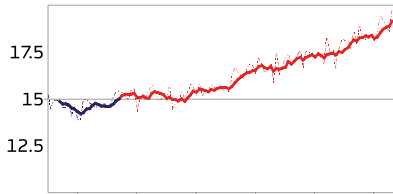
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,5°C**

Període 2076-2100: **3,6°C**

Temperatura mitjana (°C)



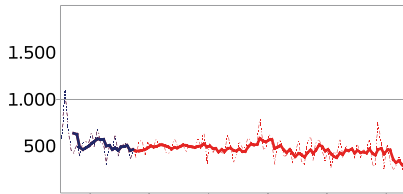
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-7,6%**

Període 2076-2100: **-23,8%**

Precipitació anual (mm)



Quantitat d'aigua al sòl

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació seran més elevades a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)

- 53 a -40
- 39 a -30
- 29 a -20
- 19 a -10
- 9 a 0

⋯: Àrea significativa al 95% del nivell de confiança



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **1.137,5 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **2,5%**

Període 2076-2100: **17,0%**

1984-2008



ETP (mm)

- 600 - 700
- 701 - 800
- 801 - 900
- 901 - 1.000
- 1.001 - 1.100

2006-2030



2076-2100



Evapotranspiració real (ETr)

Període 1984-2008: **428,0 mm**

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-2,9%**

Període 2076-2100: **-24,1%**

1984-2008



ETr (mm)

- 150 - 250
- 251 - 350
- 351 - 450
- 451 - 550
- 551 - 650

2006-2030



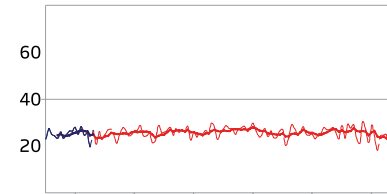
2076-2100



Quantitat d'aigua al sòl

No es preveuen reduccions significatives de l'aigua al sòl

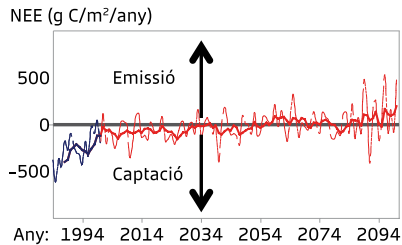
Aigua al sòl (mm)



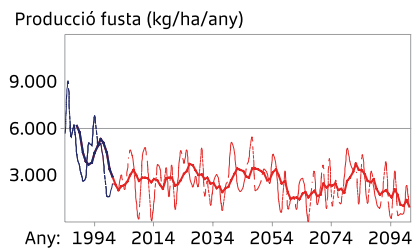
L'augment de la temperatura provoca un increment en la demanda evaporativa de les plantes. La disminució de la precipitació té un efecte directe sobre la quantitat d'aigua disponible al sòl. L'evapotranspiració real, definida com la quantitat d'aigua que realment s'evapora en condicions normals i que depèn de l'aigua disponible al sòl i de la coberta vegetal, disminueix a mesura que hi ha menys aigua al sòl.

3 Vulnerabilitats

Intercanvi de carboni als boscos. Comportament previst:
Període 2006-2030: Els boscos seguiran actuant com a **captadors** de carboni. **Període 2076-2100:** Alguns boscos podrien actuar com a **emissors de carboni**.



Producció de fusta
Comportament previst: Elevada variabilitat futura, altament dependent de la precipitació, però amb **tendència al decreixement**.



Risc d'incendi
Període 1984-2008: Promig de **37** dies a l'any amb risc.
Comportament previst:
Període 2006-2030: Fins a **75** dies a l'any amb **risc extrem**.
Període 2076-2100: Fins a **127 dies a l'any** amb **risc extrem** a la part final del Siurana.

1984-2008



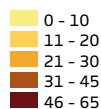
2006-2030



2076-2100



Número de dies DC > 800



Idoneïtat climàtica de les espècies
Comportament previst:
Període 2006-2030: Les **esclerofil·les i perennifòlies** (alzina, pi blanc i pinassa) es **mantenen** en les zones actualment òptimes i subòptimes.
Període 2076-2100: L'**alzina i el pi blanc** desplacen el seu òptim en **zones més elevades**. La **pinassa** situada en zones actualment subòptimes podria **desaparèixer**.

Alzina

Pi blanc

Pinassa

1984-2008



2006-2030



2076-2100



1984-2008



2006-2030



2076-2100



1984-2008



2006-2030



2076-2100

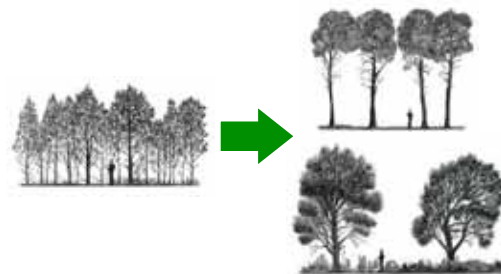


Idoneïtat ■ No apte ■ Subòptim ■ Òptim

4 Adaptacions

Gestió forestal orientada cap a estructures més sanes, més resistents al foc i amb menys estrès hídric

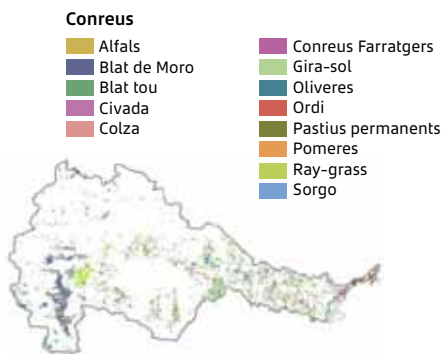
- 1 Espècies **més vulnerables** que s'haurien de **gestionar prioritàriament** per garantir la seva viabilitat:
 - Pinassa als trams mitjos i baixos
- 2 **Reduir densitats** i potenciar estructures amb **arbres grans** a través de la gestió
- 3 Després d'una pertorbació, identificar espècies sensibles i **potenciar aquelles espècies més resistents a les noves condicions**.
- 4 Recuperació i manteniment del **mosaic agroforestal**



5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, ... Els resultats reflecteixen els efectes de canvis graduals més que no pas esdeveniments extrems.

FLUVIÀ Conreus blat de moro escenari climàtic A2 smc sense escenari socioeconòmic



Cobertes agrícoles de la conca

El **19,05%** del Fluvià està ocupat per conreus (MCSC 2005). El **blat de moro** és un dels conreus majoritaris que podem trobar arreu de la conca. Representa un **3,5%** (1588 ha) de la superfície agrícola de la conca.

1 Pressions

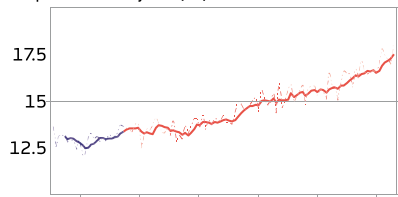
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,5°C**

Període 2076-2100: **3,5°C**

Temperatura mitjana (°C)



Any: 1994 2014 2034 2054 2074 2094

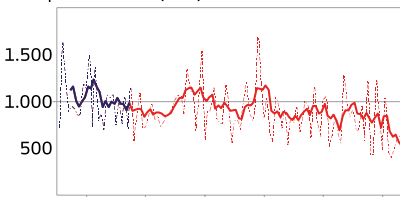
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,6%**

Període 2076-2100: **-28,1%**

Precipitació anual (mm)



Any: 1994 2014 2034 2054 2074 2094

Quantitat d'aigua al sòl

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació més severes i significatives s'esperen a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)

-53 a -40
-39 a -30
-29 a -20
-19 a -10
-9 a -0

Àrea significativa al 95% del nivell de confiança



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **734,4 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **2,5%**

Període 2076-2100: **16,8%**

1984-2008



ETP (mm)

600 - 700
701 - 800
801 - 900
901 - 1.000
1.001 - 1.100

2006-2030



2076-2100



Evapotranspiració real (ETr) del blat de moro

Període 1984-2008: **277,90 mm**

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **3,7%**

Període 2076-2100: **-16,4%**

1984-2008



ETr (mm)

150 - 250
251 - 350
351 - 450
451 - 550
551 - 650

2006-2030



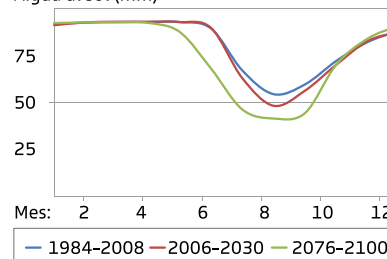
2076-2100



Quantitat d'aigua al sòl

Hi haurà reduccions properes **al 12 i 23%** el 2006-2030 i 2076-2100 respectivament. En aquest conreu, però, tan sols és vàlida l'aigua fàcilment assimilable del perfil, que és **55 mm** de mitjana.

Aigua al sòl (mm)



Mes: 2 4 6 8 10 12

— 1984-2008 — 2006-2030 — 2076-2100

Cicle de vida del blat de moro

Les **pressions** poden afectar:

- La temperatura mitjana de l'època de **sembra**: 12°C
- Risc de **glaçades** (Tmin < -2°C)
- **Estrès tèrmic** per temp. elevades (Tmax > 30°C)
- **Integral tèrmica** (graus dies acumulats GDA) per a la maduració del fruit. Dies amb Tmit>6°C que han de passar des de l'1 d'abril per acumular 2.076°C (varietats 600) o 2.126°C (varietats 700).

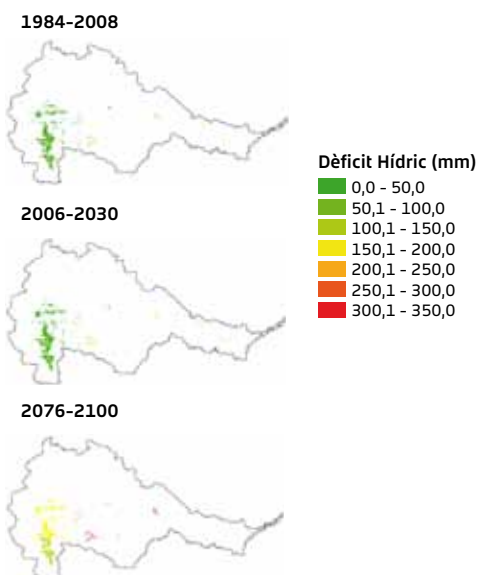
3 Vulnerabilitats

Dèficit hídric del blat de moro

Comportament previst:

Període 2006-2030: Increment de necessitats de reg al llarg de la conca. **Les necessitats de reg mitjanes seran de 1.097 m³/ha/any.**

Període 2076-2100: Aquest increment s'agreuja fins a **2.574 m³/ha/any**



Canvis en el cicle de vida del conreu

Comportament previst:

Període 2006-2030: s'avança tot el cicle biològic del conreu al voltant d'uns **8 dies** en esdevenir les condicions clarament més càlides que ara.

Període 2076-2100: s'avança tot el cicle biològic del conreu al voltant d'uns **14 dies**. **Reducció del cicle vegetatiu** i augment notable dels dies amb temperatures > 30°C (**poden afectar el gra**).



4 Adaptacions

L'agronomia pot ajudar a la millora de les condicions hídriques

1 Com a **tècniques agronòmiques** per reduir el dèficit hídric i els canvis fenològics, s'apunten:

- els **canvis en les varietats** i les dates de plantació
- **la reducció de la densitat** de plantació
- **l'orientació** de les plantacions
- **l'increment** d'aigua al sòl
- on sigui possible, **reg amb aigües regenerades**.



2 Equilibri del **mosaic agroforestal** conreu-boscatollar-prat. Aquesta mesura és clau a **nivell de paisatge** (regulació de fluxos d'aigua, carboni, nitrogen, fòsfor, etc., biodiversitat, connectivitat, etc.) com a **nivell de conreu** (aigua disponible, fauna útil i/o hostil, regulació tèrmica i de vents, etc.)



5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, ect.

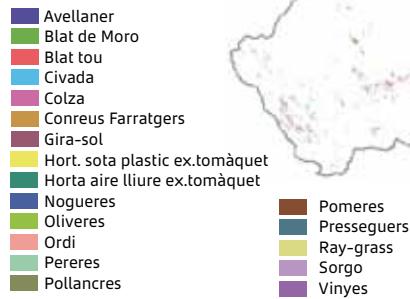
Els resultats reflecteixen els efectes de canvis graduals més que no pas esdeveniments extrems.

TORDERA

Conreus

escenari climàtic A2 smc sense escenari socioeconòmic

Conreus



Cobertes agrícoles de la conca

El **10%** del Tordera està ocupat per conreus. **L'ordi** suposa un 20% d'aquests, el **blat** un 5%, el **blat de moro** un 2% i el **pollancre** un 1% (MCSC 2005).

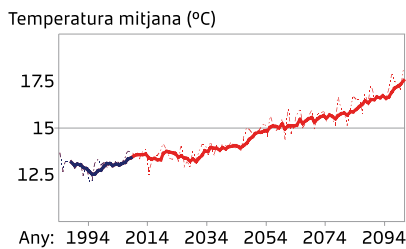
1 Pressions

Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,3°C**

Període 2076-2100: **3,4°C**

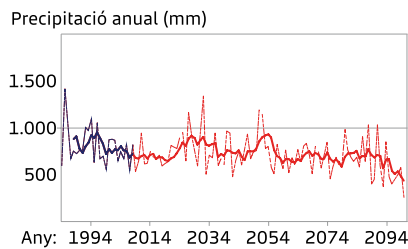


Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,3%**

Període 2076-2100: **-24,3%**

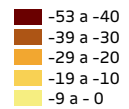


Quantitat d'aigua al sòl

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació més severes i significatives s'esperen a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)



Àrea significativa al 95% del nivell de confiança



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **810,8 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **1,8%**

Període 2076-2100: **15,7%**

1984-2008



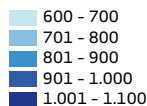
2006-2030



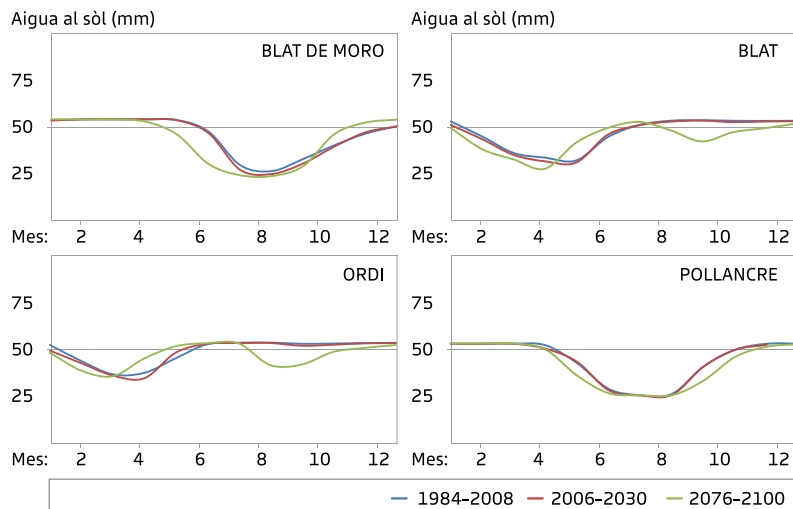
2076-2100



ETP (mm)



Quantitat d'aigua al sòl. Període 2006-2030: **1%**. Període 2076-2100: **4,6%**



Evapotranspiració real (Etr) Reduccions previstes: Període 2006-2030: **2%-3%** respecte el valor de referència. Període 2076-2100: fins a un **35%** en funció del conreu

1984-2008			2006-2030			2076-2100		
Conreus	Etr (mm)	% canvi	Conreus	Etr (mm)	% canvi	Conreus	Etr (mm)	% canvi
Blat de moro	244,8		Blat de moro	239,3	-2,20%	Blat de moro	158,3	-35,30%
Blat	213,1		Blat	209,7	-1,90%	Blat	216,5	1,40%
Ordi	194,8		Ordi	191,2	-1,80%	Ordi	184,7	-5,20%
Pollancre	230,0		Pollancre	223,6	-2,80%	Pollancre	174,9	-24,10%

Cicle de vida dels conreus Les **pressions** previstes poden afectar: • La temperatura mitjana de l'època de **sembra** (dia de l'any) • El risc de **glaçades** (Tmin < 2°C) • L'**estrès tèrmic** per temperatures elevades (Tmax > 30°C)
• Les diferents **integrals tèrmiques** (graus dies acumulats GDA) per a les fases de floració, maduració del fruit, etc.

3 Vulnerabilitats

Increment de les necessitats de reg als conreus

Comportament previst:

Període 2006-2030: increments del dèficit hídric d'un **18,2%** en blat de moro, d'un **12,5%** en blat, de un **25%** en ordi i d'un **7,5%** en pollancre.

Període 2076-2100: increments del dèficit hídric d'un **109,6%** en blat de moro, d'un **12,2%** al ordi, d'un **52,4%** en pollancre i **reduccions** d'un **3,5%** al blat.

Canvis en el cicle de vida dels conreus

Comportament previst:

Període 2006-2030: reducció del cicle vegetatiu que pot parcialment **compensar** el dèficit d'aigua. En el cas del **blat de moro**, l'augment dels dies amb temperatures > 30°C **poden afectar el gra**.

Període 2076-2100: en el cas del **blat de moro**, l'important **reducció del cicle vegetatiu** (16%), **no pot compensar** el dèficit d'aigua. L'estrès tèrmic pot afectar de manera important la **qualitat de gra**. Contràriament, la reducció del cicle vegetatiu del **blat**, juntament a una millora de les condicions tèrmiques, pot **afavorir-ne la producció**.

2006-2030		2076-2100	
Conreus	Dèficit hídric (mm)	Conreus	Dèficit hídric (mm)
Blat de moro	180,8	Blat de moro	320,7
Blat	78,9	Blat	67,6
Ordi	41,8	Ordi	36,8
Pollancre	258,0	Pollancre	366,3

Blat de moro	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Dies Tmin <-2 °C abril	0,7	1,0	0,1
Dies Tmin <-2 °C març	0,0	0,1	0,0
Dies Tmax >30 °C juliol	9,9	12,8	27,2
Dies Tmax >30 °C agost	11,8	15,8	29,1
Dia Tmitjana 12 °C	1 abr	27 mar	16 mar
Dies integral tèrmica 2.076 °C	159,0	154,0	132,0
Dies integral tèrmica 2.126 °C	163,0	158,0	134,0

Blat	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Dies 714°C GDA fase espiga	125,0	116,0	67,0
Dia 714°C GDA fase espiga	3 feb	25 gen	7 des
Dies 1.295°C GDA fase espiga	217,0	212,0	154,0
Dia 1.295°C GDA fase espiga	5 mai	30 abr	3 mar
Dia 1.956°C GDA fase espiga	266,0	263,0	218,0
Dies 1.956°C GDA fase espiga	23 jun	20 jun	6 mai
Dia Tmitjana >9°C	23 abr	20 abr	9 abr

4 Adaptacions

L'agronomia pot ajudar els conreus més vulnerables

- L'agronomia pot ajudar les espècies més vulnerables:
 - **reducció de la densitat** de plantació.
 - **el reg**, en aquest cas força compromès pel cabal de la Tordera, però possible a partir de la planta dessaladora.
 - **el canvi d'espècies**. Les nogueres podrien ser, tot i el seu elevat consum d'aigua però inferior als dels pollancre, una potencial alternativa, estalviadora d'aigua i amb un elevat valor afegit productiu.

Noguera	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Dèficit hídric (mm)	150,7	165,6	254,6
Dies de març Tmin < 0°C	5,3	6,0	2,4
Dies d'abril Tmin < 0°C	2,4	2,6	0,5
Dies d'octubre Tmin < 0°C	0,7	0,3	0,1
Dies de novembre Tmin < 0°C	4,7	4,0	1,8
Dies de juliol Tmax > 30°C	13,1	15,7	26,3
Dies d'agost Tmax > 30°C	15,1	17,9	28,4

- A nivell costaner, amb **horticultura intensiva**, la disponibilitat d'aigua es suficient degut a la planta dessaladora, no així dels pous amb elevats nivells de salinitat. Caldrà tenir en compte:
 - valorar **els fronts costaners**, generats a les desembocadures dels rius en el període de cara a incrementar la disponibilitat hídrica dels conreus.
 - els **increments de temperatura** poden millorar la **producció hortícola**, de fruites i verdures, en el sentit de produccions més primerenques i/o amb menys requeriments energètics (augment competitivitat).

5 Incerteses

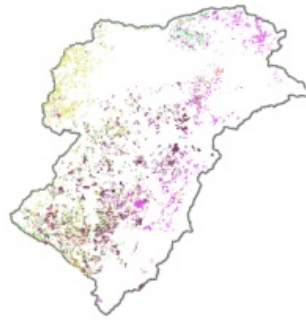
Aquestes anàlisis no tenen en compte els episodis de fronts costaners de caràcter convectiu, generats a les desembocadures dels rius en el període estival. Poden arribar a suposar un 20% addicional en la pluja de l'estiu.

SIURANA

Conreus olivera escenari climàtic A2 smc sense escenari socioeconòmic

Conreus

- Ametllers
- Avellaner
- Cirerers
- Illa olivera
- Oliveres
- Vinyes



Cobertes agrícoles de la conca

El **22%** del Siurana està ocupat per conreus (MCSA 2005). El **12%** de la superfície agrícola són **oliveres**.

1 Pressions

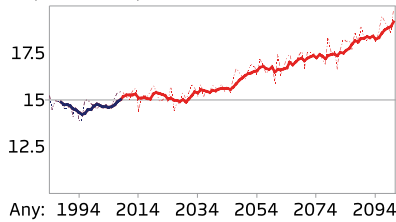
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,5°C**

Període 2076-2100: **3,6°C**

Temperatura mitjana (°C)



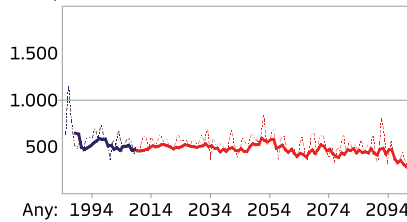
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-7,6%**

Període 2076-2100: **-23,8%**

Precipitació anual (mm)



Quantitat d'aigua al sòl

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació seran més elevades a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)

- 53 a -40
- 39 a -30
- 29 a -20
- 19 a -10
- 9 a -0

Àrea significativa al 95% del nivell de confiança



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

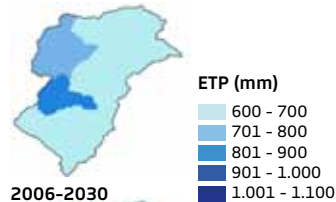
Període 1984-2008: **1.137,5 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **2,5%**

Període 2076-2100: **17,0%**

1984-2008



2006-2030



2076-2100



Evapotranspiració real (ETr)

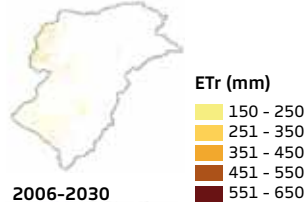
Període 1984-2008: **305,6 mm**

Reduccions previstes:

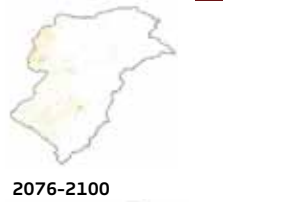
Període 2006-2030: **-0,7%**

Període 2076-2100: **-16,9%**

1984-2008



2006-2030



2076-2100

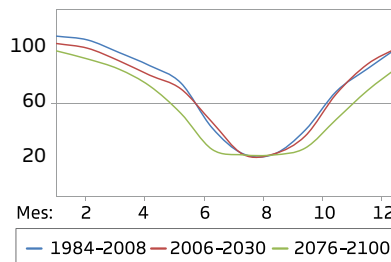


Quantitat d'aigua al sòl

Hi haurà **reduccions** properes al **2 i 13%** el 2006-2030 i 2076-2100 respectivament.

En aquest conreu, però, tant sols és vàlida l'aigua fàcilment assimilable del perfil, que és **71 mm** de mitjana.

Aigua al sòl (mm)



Cicle de vida de l'olivera

Les **pressions** poden afectar:

- La temperatura mitjana de 15-20°C: bona **floració**
- La temperatura mitjana de 25-35°C: bon **desenvolupament del fruit, alt contingut d'olis i sucres**
- Inici del **període vegetatiu** (Tmitjana 10 °C)
- Risc de **glaçades** (Tmin < -5°C)
- **Integral tèrmica** (graus dies acumulats GDA) per a la maduració del fruit. Dies amb Tmit>10°C.

3 Vulnerabilitats

Dèficit hídric de l'olivera

Comportament previst:

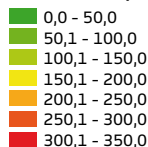
Període 2006-2030: Increment de necessitats de reg de 9,3%, i seran de 1.477m³ /ha/any.

Període 2076-2100: Les necessitats hídriques **augmenten un 94,9%**, i seran de 2.557m³/ha/any.

1984-2008



Dèficit Hídric (mm)



2006-2030



2076-2100



Canvis en el cicle de vida del conreu

Comportament previst:

Període 2006-2030: increment proper al **6%** en la acumulació de graus dies, d'un **8%** en els dies molt calorosos i un **petit avançament** en la data d'inici vegetatiu, fet que afectarà la fenologia de la planta.

Període 2076-2100: increment proper al **35%** en la acumulació de graus dies, d'un 33% en els dies molt calorosos i un **avançament de dues setmanes** en la data d'inici vegetatiu, que afectarà la fenologia de la planta, la maduració del fruit, el balanç aigua/producció i fotosíntesi/respiració.

Olivera	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Dies Tmin <-5 °C març	0,2	0,2	0,0
Dies Tmin <-5 °C abril	0,0	0,1	0,0
Dies Tmax >35 °C agost	2,5	4,9	18,3
Dies Tmax >35 °C setembre	0,0	0,1	1,6
Dia Tmitjana 10 °C	26 mar	24 mar	13 mar
Graus dia acumulats des 1 d'abril	1.513,3	1.605,5	2.027,5
Graus dia acumulats des 15 març	1.577,8	1.678,6	2.165,9



4 Adaptacions

Les noves condicions poden comprometre la viabilitat de l'olivera al Siurana

- 1 El conreu de l'olivera al Siurana, planteja **importants necessitats de reg** que, en aquesta àrea, difícilment podran cobrir-se. D'altra banda l'**increment de temperatures** generarà **canvis en fenologia**, que poden condicionar el desenvolupament òptim del fruit.



- 2 Per tot això es fa **difícil** plantejar **opcions agronòmiques**, que assegurin el nivell de productivitat i estabilitat del producte. En vistes dels resultats, **canvis de conreu** semblen opcions lògiques per mantenir la rendibilitat de la pagesia dedicada a l'olivera en aquesta conca.



5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, etc.

Els resultats reflecteixen els efectes de canvis graduals més que no pas esdeveniments extremes.

SIURANA

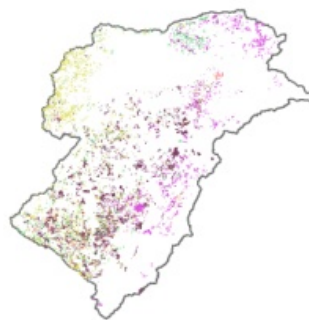
Conreus vinya

escenari climàtic A2 smc

sense escenari socioeconòmic

Conreus

- Ametllers
- Avellaner
- Círerers
- Illa olivera
- Oliveres
- Vinyes



Cobertes agrícoles de la conca

El **22%** del Siurana està ocupat per conreus (MCSC 2005). El **16,1%** de la superfície agrícola és ocupada per **vinya** 2.921 ha

1 Pressions

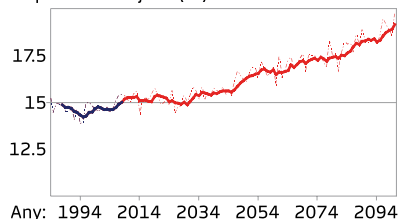
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **0,5°C**

Període 2076-2100: **3,6°C**

Temperatura mitjana (°C)



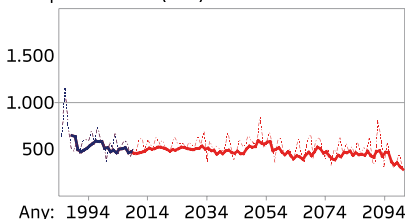
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-7,6%**

Període 2076-2100: **-23,8%**

Precipitació anual (mm)



Quantitat d'aigua al sòl

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació seran més elevades a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)

- 53 a -40
- 39 a -30
- 29 a -20
- 19 a -10
- 9 a -0

⊞ Àrea significativa al 95% del nivell de confiança



2 Impactes

Demanda evaporativa mitjana (ETP)

Període 1984-2008: **1.137,5 mm**

Incrementos previstos:

Període 2006-2030: **2,5%**

Període 2076-2100: **17,0%**

1984-2008



ETP (mm)

- 600 - 700
- 701 - 800
- 801 - 900
- 901 - 1.000
- 1.001 - 1.100

2006-2030



2076-2100



Evapotranspiració real (ETr)

Període 1984-2008: **110,4 mm**

Canvis previstos:

No es preveuen canvis en cap dels dos períodes (augmentos de 0,36% i 0,27% respectivament).

1984-2008



ETr (mm)

- 150 - 250
- 251 - 350
- 351 - 450
- 451 - 550
- 551 - 650

2006-2030



2076-2100

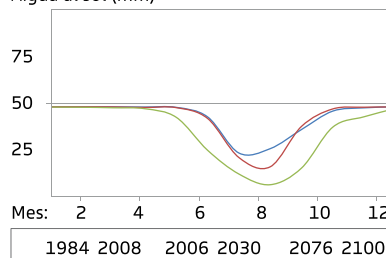


Quantitat d'aigua al sòl

Reduccions previstes:

Es preveuen del **25%** al 2006-2030 i del **64%** al 2076-2100.

Aigua al sòl (mm)



Cicle de vida de la vinya

Les **pressions** poden afectar:

- Risc de **glaçades** (Tmin < 0°C)
- Inici del **període vegetatiu** (Tmitjana 10 °C)
- **Estrès tèrmic** per temperatures elevades (Tmax > 30°C)
- **Integral tèrmica** (graus dies acumulats GDA) per a la maduració del fruit. Dies amb Tmit > 10°C.

3 Vulnerabilitats

Canvis en el cicle de vida del conreu

Comportament previst:

La fenologia variarà i, en conseqüència, l'agronomia.

El balanç en raïm **maduració alcohòlica / maduració fenòlica**, entrarà en un nou equilibri.

1984-2008



2006-2030



2076-2100



Dèficit Hídric (mm)

0,0 - 50,0
50,1 - 100,0
100,1 - 150,0
150,1 - 200,0
200,1 - 250,0
250,1 - 300,0
300,1 - 350,0

Dèficit hídric de la vinya

Comportament previst:

Període 2006-2030: Increment de necessitats de reg de 9,3%, i seran El dèficit hídric promig del període **1984-2008** és de 19 m³/ha/any.

Període 2006-2030: el dèficit d'aigua serà de **31 m³/ha/campanya**.

Període 2076-2100: el dèficit serà de **144 m³/ha/campanya** de cultiu. Es tracta d'unes necessitats de reg petites, però importants al Siurana, on l'aigua de reg prové de pluja guardada en basses.

Vinya	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Dies Tmin <0 °C març	3,3	3,0	0,5
Dies Tmin <0 °C abril	0,6	0,6	0,0
Dies Tmax >30 °C agost	21,0	23,3	29,5
Dies Tmax >30 °C setembre	18,9	22,2	29,7
Dia Tmitjana 10 °C	26 mar	24 mar	13 mar
Graus dia acumulats des 1 d'abril	1.513,3	1.605,5	2.027,5
Graus dia acumulats des 15 març	1.577,8	1.678,6	2.165,9



4 Adaptacions

L'agronomia pot ajudar a la millora de les condicions hídriques

1 Tècniques agronòmiques:

- canvis de **varietats i portaempelts**
- reducció de la **densitat de plantació**
- canvis en els **sistemes d'entutorat**
- **orientació i poda** de les capçades
- millora de les característiques **d'emmagatzematge i conducció** d'aigua en els sols, mitjançant l' incorporació de matèria orgànica
- incrementar la **incorporació de material en superfície** del sòl que evitin l'evaporació

- #### 2
- Noves plantacions en **llocs on actualment hi són** i on les condicions futures poden ser més favorables, si més no, més **similars a les actuals**.

- #### 3
- Equilibri del **mosaic agroforestal**. Aquesta mesura és clau a **nivell de paisatge** (regulació de fluxos d'aigua, carboni, nitrogen, fòsfor, etc., biodiversitat, connectivitat, etc.) com a **nivell de conreu** (aigua disponible, fauna útil i/o hostil, regulació tèrmica i de vents, etc.). La plantació de vinyes pot esser interessant per frenar l'evolució **bosquines secundàries**.

- #### 4
- La temporalitat d'aquest conreu i l'acumulació de fusta en tiges i arrels li confereix una important funció **d'embornal de carboni**.

5 Incerteses

Aquestes anàlisis no tenen en compte l'efecte de situacions extremes i les seves sinèrgies: episodis de sequeres, ventades, nevades, etc. Els resultats reflecteixen els efectes de canvis

graduals més que no pas esdeveniments extrems.

FLUVIÀ

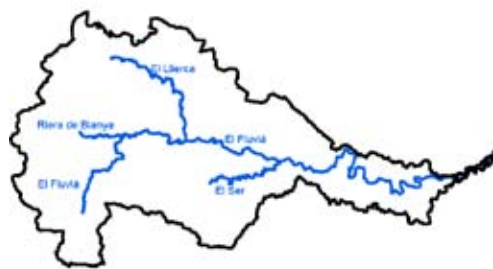
Masses d'aigua

escenari climàtic A2 upc

sense escenari socioeconòmic

Xarxa fluvial principal

Els principals **aflluents** del Fluvià són el Llierca, el Ser i la Riera de Bianya



1 Pressions

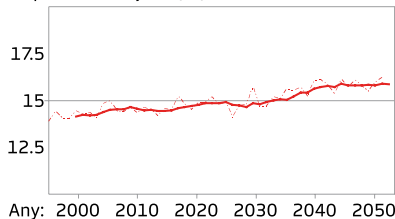
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2000-2025: **0,5°C**

Període 2025-2050: **1,4°C**

Temperatura mitjana (°C)



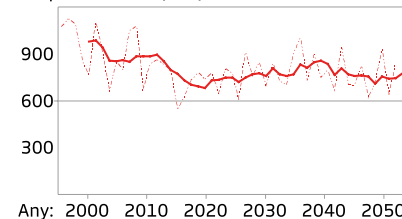
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **-12,3%**

Període 2025-2050: **-16,3%**

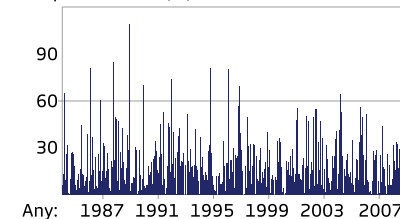
Precipitació anual (mm)



Variació interanual de precipitació

Alta **variabilitat mensual** en la sèrie de precipitació històrica

Precipitació diària (m)



2 Impactes

Escolament superficial

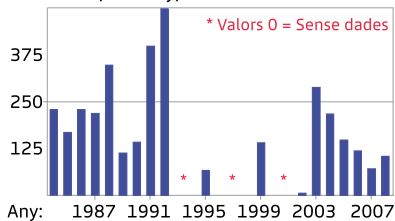
Període 1984-2008: 158,8hm³/any

Reduccions previstes:

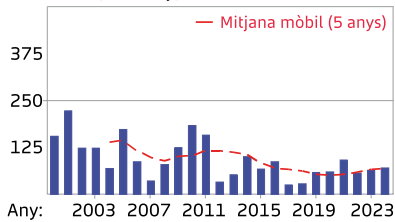
Període 2000-2025: **-38,0%**

Període 2025-2050: **-49,0%**

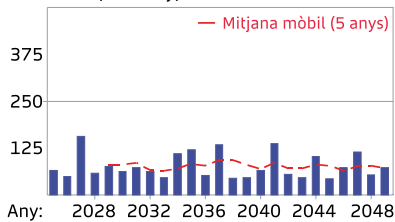
Escolament (hm³/any). Període 1984-2008



Escolament (hm³/any). Període 2000-2025



Escolament (hm³/any). Període 2025-2050



Recàrrega subterrània

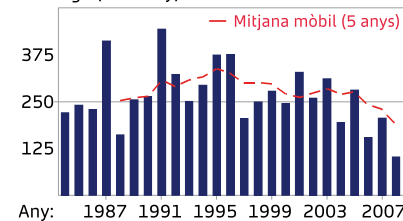
Període 1984-2008: 273,2hm³/any

Reduccions previstes:

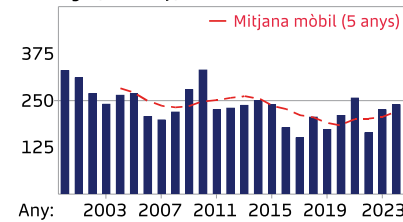
Període 2000-2025: **-13,7%**

Període 2025-2050: **-20,0%**

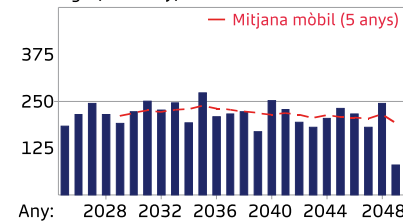
Recàrrega (hm³/any). Període 1984-2008



Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



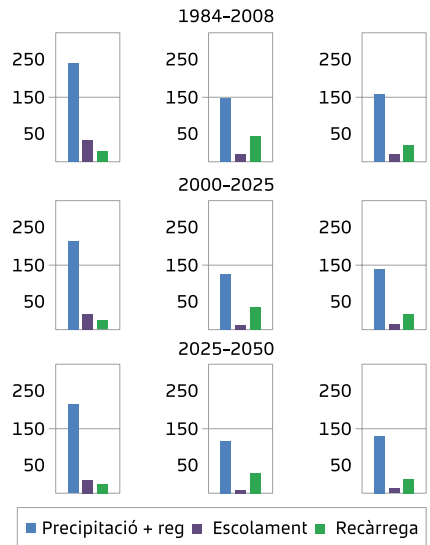
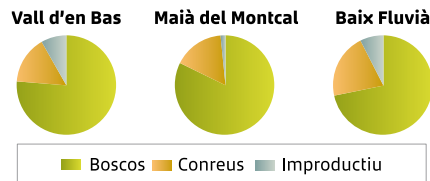
Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050



Resposta hidrològica espacial

La resposta hidrològica de la conca varia **espacialment**.

Es preveuen **canvis importants** del període històric al **2000-2025** i menys significatius pel 2025-2050



3 Vulnerabilitats

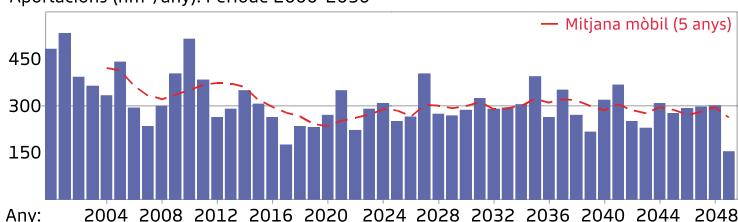
Disminució dels recursos hídrics disponibles

Comportament previst:

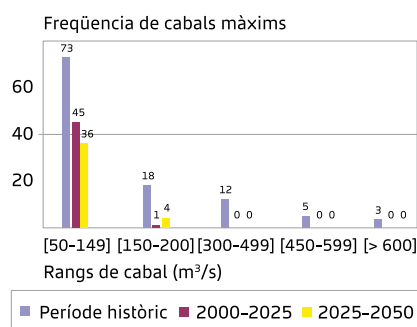
Reducció important d'**aportacions anuals** (escolament + recàrrega) i increment de la **variabilitat** intra i interanual. Variació de recursos **més important** al període **2000-2025**.

Afectació al subministrament d'aigua a la població i sectors industrials així com al possible subministrament hidroelèctric

Aportacions (hm³/any). Període 2000-2050



Any: 2004 2008 2012 2016 2020 2024 2028 2032 2036 2040 2044 2048



Afectació a planes costaneres

Comportament previst:

Risc d'augment de **zones inundables** associat a **episodis extrems**. S'espera un nombre **inferior d'esdeveniments extrems** i amb cabals punta menors **Disminució** del regim **d'aportacions al mar d'un 31%** i increment del **risc d'intrusió marina** en aqüífers costaners

Afectació al cicle hidrològic natural

Comportament previst:

Desconnexió hidrologia superficial - subterrània amb afectació de surgència. En sistemes hidrològics afectats (aquífers intensament explotats o salinitzats) **disminució del nivell freàtic** i de la **qualitat de l'aigua** per disminució de la recarrega natural.

Canvis en ecosistemes associats a aigües continentals

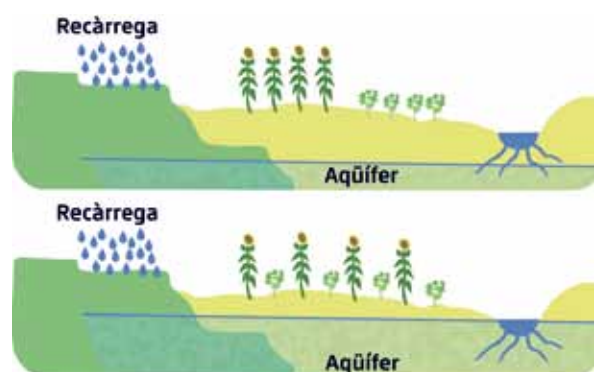
Comportament previst:

Afectació a **bosc de ribera i fauna** per disminució de recursos superficials i subterrànies. Afectació a **zones humides i cabals ecològics** per descens d'aportacions. Efectes en cultius de secà per la disponibilitat d'aigua. Reducció de les aportacions als **aiguamolls de l'Empordà** en un **31%**.

4 Adaptacions

Aplicació de mesures estructurals y no estructurals de la gestió dels recursos hídrics

- 1 Planificació** dels **usos futurs** del sol incloent l'ús residencial tenint en compte la disponibilitat d'aigua
- 2 Revisió** de les **infraestructures hidràuliques** existents per l'adaptació als escenaris hídrics futurs
- 3 Canvis** de la **gestió agrícola i forestal**
- 4 Adopció** de plans d'acció estructurals i no estructurals adequats per a **mantenir l'aiguamoll** i prevenir la fragmentació.
- 5 Millora** de la **gestió integrada** dels recursos hídrics: superficials, subterrànies i aigües no convencionals



5 Incerteses

Els resultats mostren els canvis considerant la incertesa derivada de la base de dades històrica disponible i la pròpia incertesa dels models climàtics.

Aquest anàlisi no té en compte les relacions hidrològiques amb el canvi de nivell del mar i les aigües subterrànies per manca de informació.

TORDERA

Masses d'aigua

escenari climàtic A2 upc

sense escenari socioeconòmic

Xarxa fluvial principal

Els principals afluents de la Tordera són la riera d'Arbúcies, la riera de Santa Coloma i la Sèquia de Sils



1 Pressions

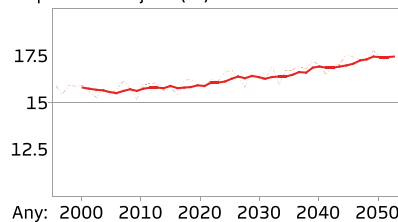
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2000-2025: **0,5°C**

Període 2025-2050: **1,4°C**

Temperatura mitjana (°C)



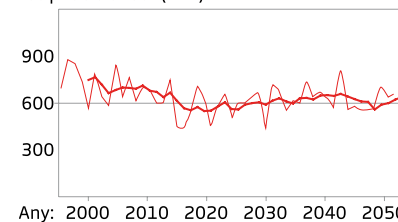
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **-8,9%**

Període 2025-2050: **-12,9%**

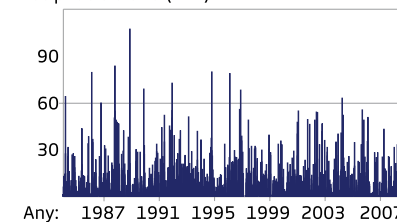
Precipitació anual (mm)



Variació interanual de precipitació

Alta **variabilitat mensual** en la sèrie de precipitació històrica

Precipitació diària (mm)



2 Impactes

Escolament superficial

Període 1984-2008: 152,6hm³/any

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **-28,4%**

Període 2025-2050: **-37,0%**

Recàrrega subterrània

Període 1984-2008: 37,8hm³/any

Reduccions previstes:

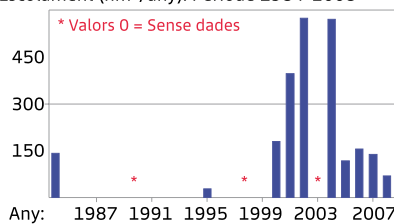
Període 2000-2025: **-9,5%**

Període 2025-2050: **-14,3%**

Resposta hidrològica espacial

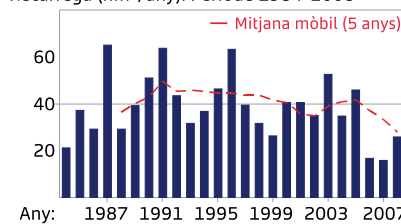
La resposta hidrològica de la conca varia **especialment**. La **recàrrega** està condicionada per la **permeabilitat**. Es preveuen **canvis importants** del període històric al **2000-2025** i menys significatius pel 2025-2050

Escolament (hm³/any). Període 1984-2008



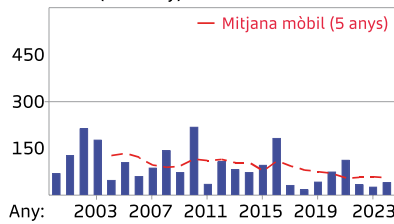
Any: 1987 1991 1995 1999 2003 2007

Recàrrega (hm³/any). Període 1984-2008



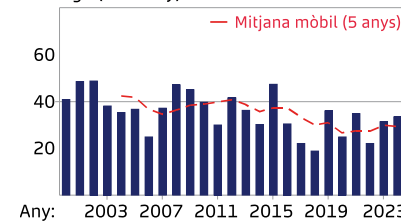
Any: 1987 1991 1995 1999 2003 2007

Escolament (hm³/any). Període 2000-2025



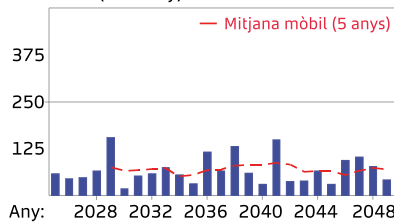
Any: 2003 2007 2011 2015 2019 2023

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



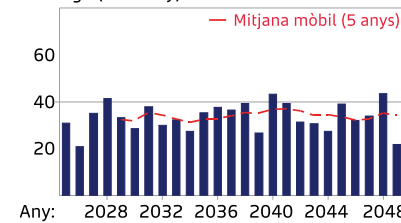
Any: 2003 2007 2011 2015 2019 2023

Escolament (hm³/any). Període 2025-2050

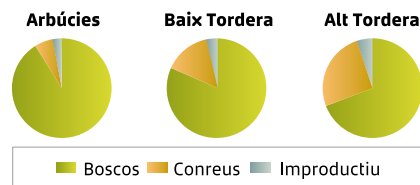


Any: 2028 2032 2036 2040 2044 2048

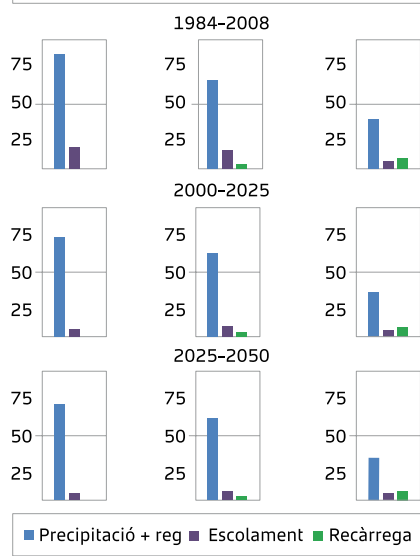
Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050



Any: 2028 2032 2036 2040 2044 2048

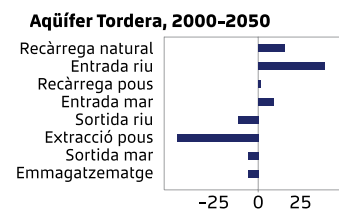
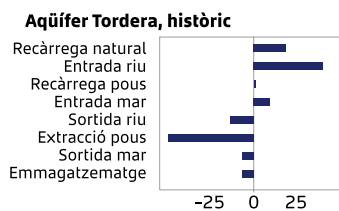


■ Boscos ■ Conreus ■ Improductiu



■ Precipitació + reg ■ Escolament ■ Recàrrega

Aqüífer la Tordera



3 Vulnerabilitats

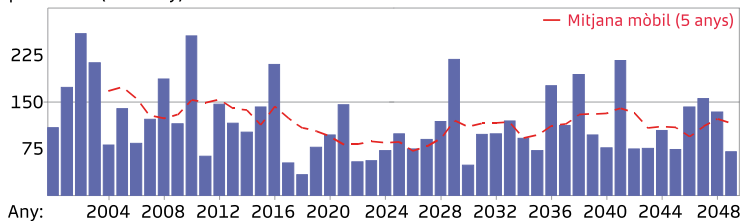
Disminució dels recursos hídrics disponibles

Comportament previst:

Reducció important d'aportacions anuals (escolament + recàrrega) i increment de la **variabilitat** intra i interanual. Variació de recursos **més important** al període **2000-2025**.

Afectació al subministrament d'aigua a la població i sectors industrials.

Aportacions (hm³/any). Període 2000-2050

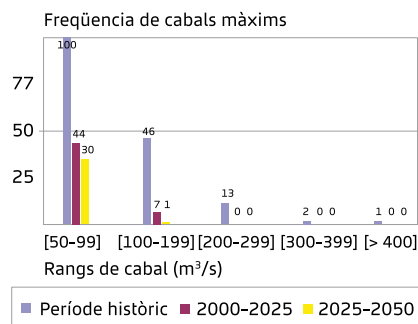


Afectació a planes costaneres

Comportament previst:

Risc d'augment de **zones inundables** associat a **episodis extrems**. **Disminució d'esdeveniments extrems** i cabals punta menors.

Disminució del regim d'aportacions al mar, delta i aqüífers d'un **32%** i increment del **risc d'intrusió marina** en aqüífers costaners.



Afectació al cycle hidrològic natural

Comportament previst:

Desconnexió hidrologia superficial - subterrània amb afectació de surgència.

En sistemes hidrològics afectats (aquífers intensament explotats o salinitzats) **disminució del nivell freàtic** i de la **qualitat de l'aigua** per disminució de la recarrega natural, especialment important al delta de la Tordera.

Canvis en ecosistemes associats a aigües continentals

Comportament previst:

Afectació a **bosc de ribera i fauna** per disminució de recursos superficials i subterrànies.

Afectació a **zones humides i cabals ecològics** per descens d'aportacions. Efectes en cultius de secà per la disponibilitat d'aigua.

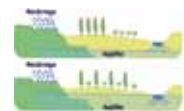
Reducció de les aportacions al **delta i planes costaneres** en un **32%**.

4 Adaptacions

Aplicació de mesures estructurals y no estructurals de la gestió dels recursos hídrics

- Planificació** dels usos futurs del sol incloent l'ús residencial tenint en compte la disponibilitat d'aigua
- Revisió** de les infraestructures hidràuliques existents per l'adaptació als escenaris hídrics futurs
- Canvis** de la gestió agrícola i forestal

- Reubicació i reaprofundiment** de pous. Augment del volum d'aigua a injectar en pous per al control de la intrusió marina.



- Millora** de la gestió integrada dels recursos hídrics: superficials, subterrànies i aigües no convencionals

5 Incerteses

Els resultats mostren els canvis considerant la incertesa derivada de la base de dades històrica disponible: manca de sèries meteorològiques i d'aforament llargues, dis-

tribució espacial de precipitació i temperatura poc densa. La pròpia incertesa dels models climàtics i les dades històriques condicionen els resultats finals.

SIURANA

Masses d'aigua

escenari climàtic A2 upc

sense escenari socioeconòmic

Xarxa fluvial principal

Els principals **afluents** del Siurana són el riu Montsant i la riera de Capçanes



1 Pressions

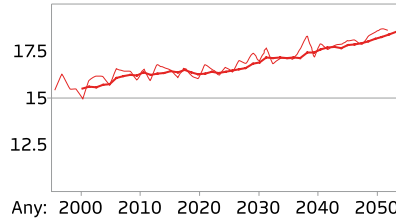
Temperatura mitjana

Incrementos previstos:

Període 2000-2025: **2,1°C**

Període 2025-2050: **3,4°C**

Temperatura mitjana (°C)



Any: 2000 2010 2020 2030 2040 2050

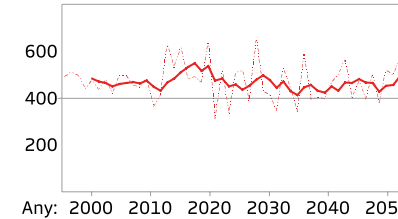
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **-13,8%**

Període 2025-2050: **-16,5%**

Precipitació anual (mm)

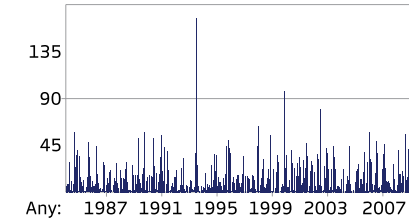


Any: 2000 2010 2020 2030 2040 2050

Variació interanual de precipitació

Alta **variabilitat mensual** en la sèrie de precipitació històrica

Precipitació diària (mm)



Any: 1987 1991 1995 1999 2003 2007

2 Impactes

Escolament superficial

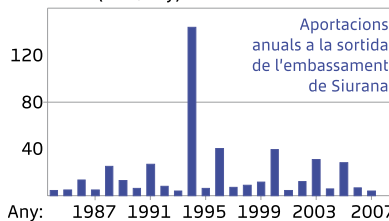
Període 1984-2008: 35,8hm³/any

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **- 59,0%**

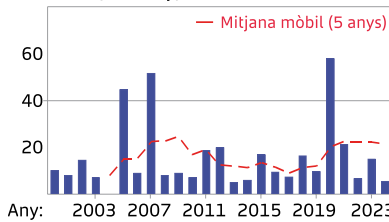
Període 2025-2050: **- 60,0%**

Escolament (hm³/any). Període 1984-2008



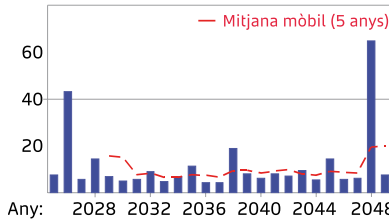
Any: 1987 1991 1995 1999 2003 2007

Escolament (hm³/any). Període 2000-2025



Any: 2003 2007 2011 2015 2019 2023

Escolament (hm³/any). Període 2025-2050



Any: 2028 2032 2036 2040 2044 2048

Recàrrega subterrània

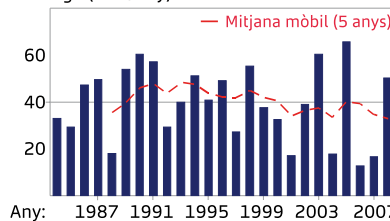
Període 1984-2008: 39,4hm³/any

Reduccions previstes:

Període 2000-2025: **- 10,3%**

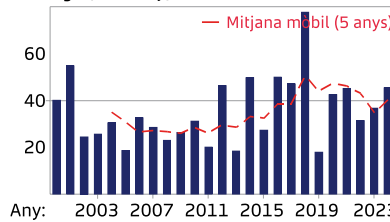
Període 2025-2050: **- 17,2%**

Recàrrega (hm³/any). Període 1984-2008



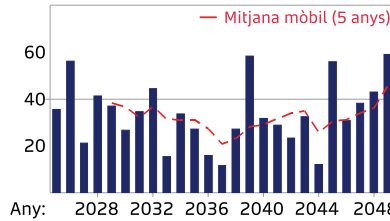
Any: 1987 1991 1995 1999 2003 2007

Recàrrega (hm³/any). Període 2000-2025



Any: 2003 2007 2011 2015 2019 2023

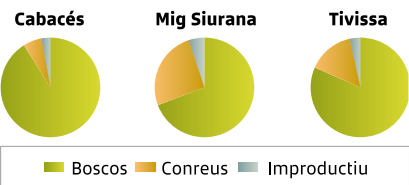
Recàrrega (hm³/any). Període 2025-2050



Any: 2028 2032 2036 2040 2044 2048

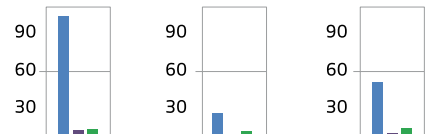
Resposta hidrològica espacial

La resposta hidrològica de la conca varia **espacialment**. Es preveuen **canvis importants** del període històric al **2000-2025** i menys significatius pel 2025-2050 (10%).
Impacte important als cabals.

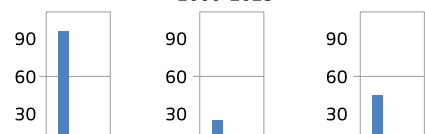


■ Boscos ■ Conreus ■ Improductiu

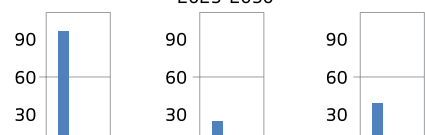
1984-2008



2000-2025



2025-2050



■ Precipitació + reg ■ Escolament ■ Recàrrega

3 Vulnerabilitats

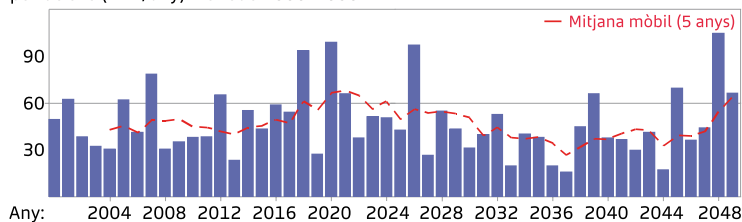
Disminució dels recursos hídrics disponibles

Comportament previst:

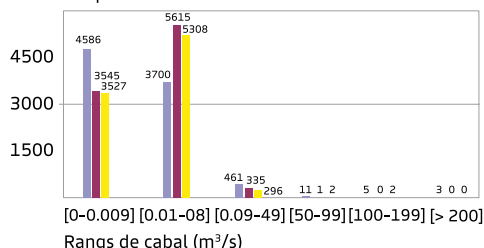
Reducció important d'**aportacions anuals** (escolament + recàrrega) i increment de la **variabilitat** intra i interanual. La **variació** de recursos important es produeix al període **2050** amb una **reducció de les aportacions** en un **42%**.

Afectació al subministrament d'aigua a la població i sectors industrials així com al possible subministrament del embassament

Aportacions (hm³/any). Període 2000-2050



Freqüència de cabals màxims



■ Període històric ■ 2000-2025 ■ 2025-2050

Canvis en ecosistemes associats a aigües continentals

Comportament previst: Afectació a **ecosistemes de ribera** per disminució de recursos superficials i subterrànies.

Afectació al **cabal ecològic** per descens d'aportacions. Efectes en cultius de secà per la disponibilitat d'aigua.

Afectació al cicle hidrològic natural

Comportament previst:

Desconnexió hidrologia superficial - subterrània amb afectació de surgència.

En sistemes hidrològics afectats (aquífers intensament explotats o salinitzats) **disminució del nivell freàtic** i de la **qualitat de l'aigua** per disminució de la recarrega natural, especialment important al delta de la Tordera.

Presència de **flash-floods** i **sequeres** associades a la possibilitat d'esdeveniments extrems.

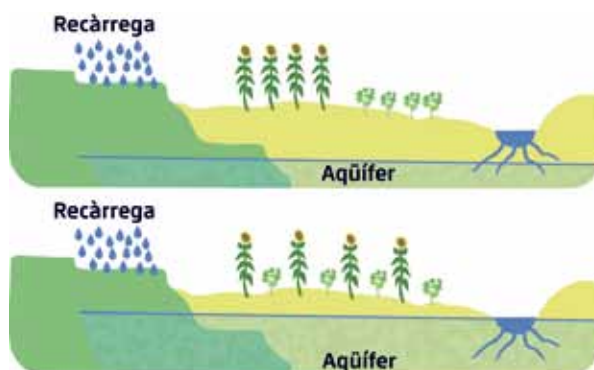
Concentració dels **cabals base** del riu entorn **0 - 0,9 m³/s**.

Reducció dels cabals màxims.

4 Adaptacions

Aplicació de mesures estructurals y no estructurals de la gestió dels recursos hídrics

- 1 Planificació dels usos futurs** del sol incloent l'ús residencial tenint en compte la disponibilitat d'aigua
- 2 Necessitat de millora de dades de la conca** per millorar la gestió.
- 3 Canvis de la gestió agrícola i forestal**
- 4 Revisió de les infraestructures hidràuliques** existents per l'adaptació als escenaris hídrics futurs. Adopció de mesures per la **captació d'aigua** d'escolament.
- 5 Millora de la gestió integrada** dels recursos hídrics: superficials, subterrànies i aigües no convencionals



5 Incerteses

Els resultats mostren els canvis considerant la incertesa derivada de la manca de dades hidrològiques, la irregularitat extrema observada en el període històric i la pròpia incertesa dels models climàtics.

Aquest anàlisi no té en compte els impactes acumulatius i sinèrgies que poden ser majors que la suma dels impactes parcials.

Cabals de manteniment escenari climàtic A2 smc sense escenari socioeconòmic

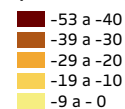
1 Pressions

Variació interanual de precipitació

Previsions per al s. XXI (mm/dècada):

Les reduccions de precipitació més severes i significatives s'esperen a la **capçalera**

Tendència P (mm/dècada)



Àrea significativa al 95% del nivell de confiança

Precipitació anual

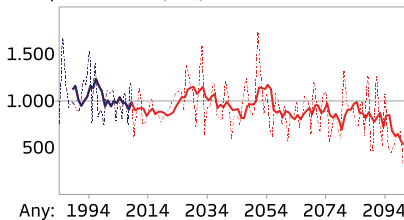
Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,6%**
Període 2076-2100: **-28,1%**

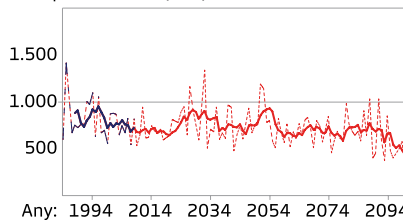
Període 2006-2030: **-9,3%**
Període 2076-2100: **-24,3%**

Període 2006-2030: **-7,6%**
Període 2076-2100: **-23,8%**

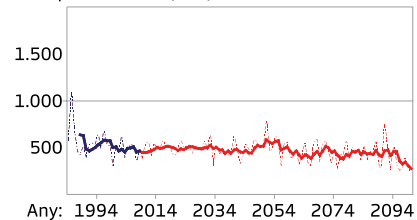
Precipitació anual (mm)



Precipitació anual (mm)



Precipitació anual (mm)



2 Impactes

Escolament superficial

Període 1984-2008: 334,4hm³/any

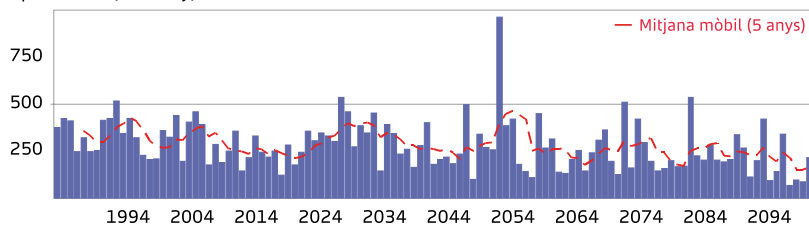
Reduccions previstes: Període 2006-2030: **- 13 a - 20%**

Període 2076-2100: **- 32 a - 48%**

Reduccions d'escolament

previstes respecte al període de referència (1984-2008) a la capçalera i tram final

Aportacions (hm³/any). Fluvià

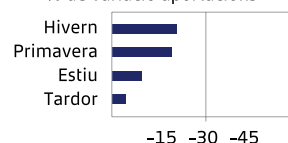


Llarg termini (2076-2100)

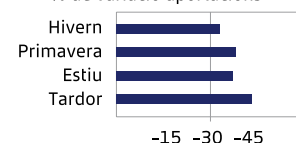
	Capçalera	Tram final
Fluvià	- 48%	- 39%
Tordera	- 33%	- 37%
Siurana	- 32%	- 33%

Reduccions d'escolament previstes per estació respecte al període de referència (1984-2008) al tram final del Fluvià. Les reduccions més grans es donen al **hivern i primavera a curt termini** i es **generalitzen a llarg termini**.

% de variació aportacions



% de variació aportacions



3 Vulnerabilitats

Els cursos fluvials presenten una **forta variabilitat en funció de la localització**

i les condicions climàtiques, geomorfològiques i biològiques on es troben.

Aquesta variabilitat hidrològica es bàsica per mantenir-ne les característiques, com són la morfologia, l'habitabilitat i el manteniment de comunitats biològiques. No obstant això, la pressió que les activitats humanes exerceixen sobre els cursos fluvials pot arribar a comprometre'n el funcionament.

L'**Agència Catalana de l'Aigua (ACA)**, com a ens gestor dels cursos fluvials i en consonància amb els objectius de la Directiva Marc de l'Aigua (DMA), va establir el 2005 un règim de cabals de manteniment (ambiental) que han de circular pels sistemes fluvials que faci compatible els usos amb la conservació de la qualitat ambiental.

Aquest règim de cabals de manteniment és específic per a cada punt significatiu de la xarxa fluvial i varia de forma mensual en funció de la disponibilitat d'aigua.

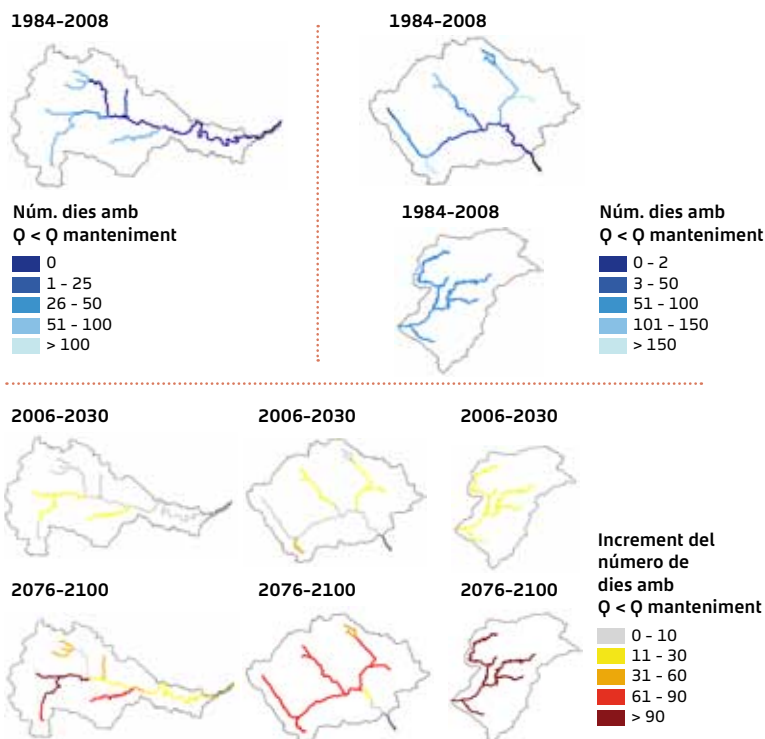
Les figures següents mostren la variació en el número de dies a l'any en què el cabal circulat és inferior al cabal de manteniment fixat pel **Pla Sectorial de Cabals de Manteniment**.

Cabals de manteniment

Període 1984-2008: Hi ha **trams** de riu, especialment a la capçalera, amb **cabals** circulants **inferiors** als **cabals ambientals**

Comportament previst:

Període 2006-2030: **No** s'observen **canvis significatius** en el nombre de dies amb cabals inferiors a l'ambiental, fora d'alguns trams a les capçaleres. **Període 2076-2100:** Trams dels rius, principalment a les capçaleres, on **s'incrementen** en **més de 60 i 90** el nombre de dies en què els cabals **no arriben al mínim ambiental**.



4 Adaptacions

1 Identificar els trams i comunitats més vulnerables al canvi climàtic i garantir el seu manteniment, tant mitjançant **restriccions** en les **extraccions** com amb el desenvolupament de **plans de conservació**.



2 A llarg termini, **replantejar** els límits actuals de **cabals** de manteniment per adaptar-se a unes noves **condicions climàtiques més àrides**.



5 Incerteses

Els resultats mostren els canvis considerant la incertesa derivada de la base de dades històrica disponible: manca de sèries meteorològiques i d'aforament llargues, distribució espacial de preci-

pitació i temperatura poc densa. La pròpia incertesa dels models climàtics i les dades històriques condicionen els resultats finals. En aquesta modelització s'ha emprat el model hidrològic SWAT

Usos de sòl sense escenari climàtic escenari socioeconòmic tendencial sostenible reducció boscos

1 Pressions

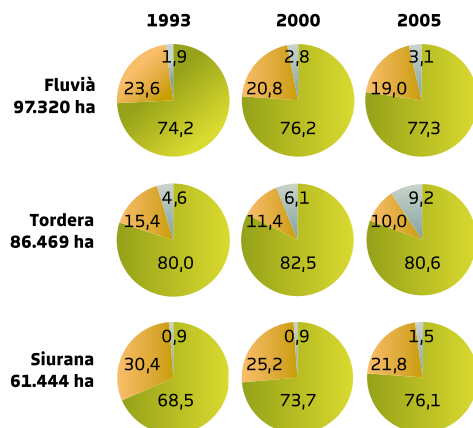
Canvis d'usos

Canvis observats 1993-2005

(font de dades MCSC 1993-2000-2005):
Lleu **augment** dels terrenys **forestals**
Disminució de **con-reus**, important al Siurana. **Augment** de l'**artificial**, especialment a la Tordera.

Usos del sòl

- Forestal
- Conreus
- Artificial



Increment poblacional

Canvis observats 1975-2008:

Increment **molt elevat** a la **Tordera** i elevat al **Fluvià**. **Reducció** al **Siurana**

Escenaris socioeconòmics

Sostenible

Creixement econòmic moderat
Augment demogràfic moderat
Contenció en la despesa energètica

Tendencial

Creixement econòmic ràpid
Creixement demogràfic elevat
Ús intensiu de combustibles fòssils
Globalització

	Població 1975*	Població 2008*	% increment
Fluvià	47.717	59.514	25%
Tordera	53.520	111.842	109%
Siurana	12.227	11.141	- 9%

* Dades IDESCAT ponderades per la superfície urbana dins la conca

2 Impactes

Escenari socioeconòmic sostenible 2030

Comportament previst: Tordera i Fluvià: increment **moderat** de la població i **reestructuració urbanística** Siurana: cert **rejuveniment** de la població i adaptació i **reconversió** de l'**agricultura** a noves condicions climàtiques sense executar el pla de regadius.

Increment de la superfície (en %) de cada coberta principal en 2030 respecte al 2000

	Fluvià	Tordera	Siurana
Bosc	3%	0%	- 4%
Matollars	- 1%	0%	4%
Prats i sòls nus	0%	0%	0%
Conreus	- 3%	- 1%	0%
Urbà i associat	0%	0%	0%

Increment poblacional

	Població 2008	Població 2030 sostenible	% increment
Fluvià	59.514	63.162	6%
Tordera	111.842	126.422	13%
Siurana	11.141	11.195	0%

Escenari socioeconòmic tendencial 2030

Comportament previst: Tordera i Fluvià: augment de la **pressió urbanística** i retrocés de l'agricultura. Siurana: agricultura en declivi i **intensificació** amb l'aplicació del **pla de regadius**

Increment de la superfície (en %) de cada coberta principal en 2030 respecte al 2000

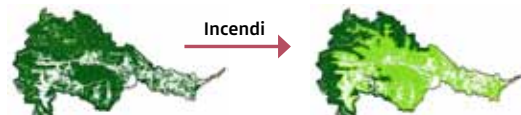
	Fluvià	Tordera	Siurana
Bosc	4%	- 1%	- 4%
Matollars	- 1%	0%	5%
Prats i sòls nus	- 1%	0%	1%
Conreus	- 2%	- 1%	- 2%
Urbà i associat	1%	2%	0%

Increment poblacional

	Població 2008	Població 2030 tendencial	% increment
Fluvià	59.514	75.127	26%
Tordera	111.842	156.748	40%
Siurana	11.141	13.950	25%

Cobertes de sòl sota el supòsit de reducció de boscos a la meitat al Fluvià

Matollar
Boscos

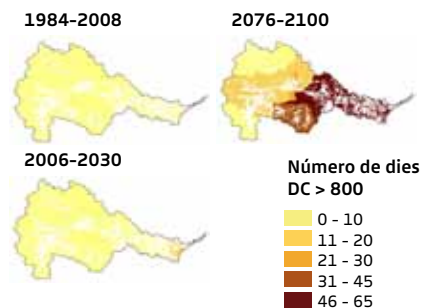


Escenari reducció de boscos

Comportament previst:

L'increment del **risc meteorològic d'incendis**, en un escenari d'absència de gestió, pot implicar que una superfície de boscos de les conques es **cremi** i **passi a matollar**. S'ha dissenyat un **escenari fictici** de reducció de boscos a la meitat per veure l'efecte d'aquesta eventual hipòtesi sobre el cicle hidrològic.

Risc d'incendi meteorològic (dies amb Drought Code (DC) superior a 800)



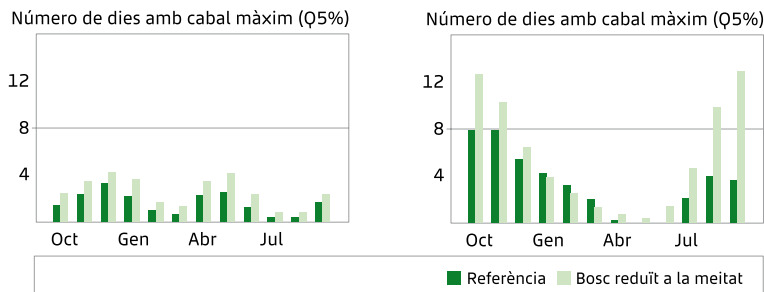
Incendi

3 Vulnerabilitats

Desregularització del cycle hidrològic

Comportament previst:

La reducció del bosc a la meitat provoca un lleuger **increment** dels **cabals promitjos i màxims** en disminuir l'evapo-transpiració i la infiltració neta. S'observa un clar **augment** de la **variabilitat** dels **cabals**, amb tendència a **situacions més extremes** (mínims i màxims).



Augment de les necessitats d'aigua futures

Comportament previst:

A l'escenari socioeconòmic més desfavorable (tendencial), l'aigua total demandada l'any 2030 serà de fins a un **15%** més a la **Tordera**, un **22%** més al **Fluvià** i fins a un **118%** més al **Siurana** en relació a la demanda actual.

* Demandes d'aigua estimades pel 2030 pels dos escenaris socioeconòmics (basat en les estimacions de creixement poblacional i evolució de la demanda segons el Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial).

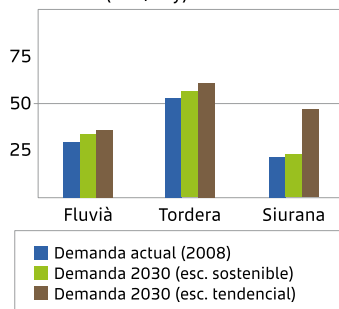
Increment cabal sota l'escenari de reducció de bosc respecte la referència (1984-2008)

	Canvis de cabal a la capçalera	Canvis de cabal al tram final
Fluvià	7%	9%

Variació cabal màxim i mínim (pel Fluvià)

	Cabal màxim promig (m³/s)	Cabal mínim promig (m³/s)
Referència (MCSC 2000)	117,3	3,6
Bosc reduït a la meitat	150,3	3

Demandes (hm³/any)



4 Adaptacions

- 1 Afavorir l'**estalvi** d'aigua mitjançant incentius que en fomentin l'**ús racional** i la seva reutilització.
- 2 Estudiar mesures per tal **d'adaptar l'oferta futura** d'aigua a una demanda creixent i una disminució progressiva dels recursos hidrològics
- 3 Incloure **criteris de sostenibilitat** en la planificació urbanística per encarar el nou escenari climàtic
- 4 Orientar el nou creixement urbà a la densificació de zones existents de baixa densitat (tendir a un **urbanisme compacte**).

- 5 **Gestió forestal** orientada cap a estructures més **sanes**, més **resistents al foc** i amb **menys estrès hídric**:
 - **Reduir densitats** i potenciar estructures amb **arbres grans** a través de la gestió
 - Després d'una pertorbació, identificar espècies sensibles i **potenciar aquelles espècies més resistents a les noves condicions**.
 - Recuperació i manteniment del **mosaic agroforestal**



5 Incerteses

Les estimacions poblacionals es basen en supòsits migratoris que podrien ser diferents en un futur. Les estimacions d'aigua futura es basen en els escenaris del Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial de l'ACA i en l'execució del Pla de Regadius. Aquestes anàlisis no incorporen els efectes de futures crisis econòmiques.

Els resultats de l'escenari de reducció de boscos es deriven de la modelització amb el model hidrològic SWAT. Aquests resultats estan condicionats a la incertesa derivada de la base de dades històrica disponible (d'aforament i meteorològiques) i dels models climàtics.

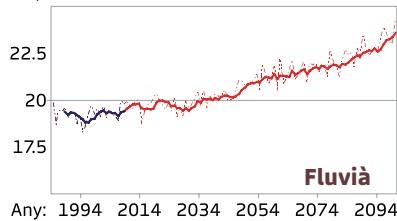
Població escenari climàtic A2 smc escenari socioeconòmic tendencial

1 Pressions

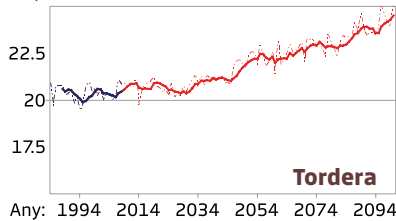
Temperatura màxima

Incrementos previstos: Període 2006-2030: **0,3 - 0,4°C** Període 2076-2100: **3,3 - 3,4°C**

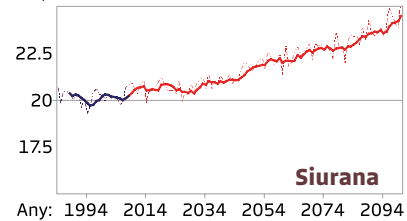
Temperatura màxima (°C)



Temperatura màxima (°C)



Temperatura màxima (°C)



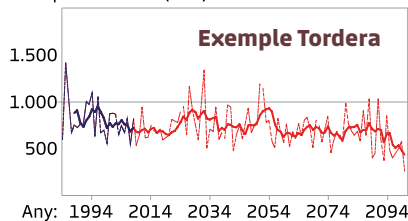
Precipitació anual

Reduccions previstes:

Període 2006-2030: **-9,3%**

Període 2076-2100: **-24,3%**

Precipitació anual (mm)



2 Impactes

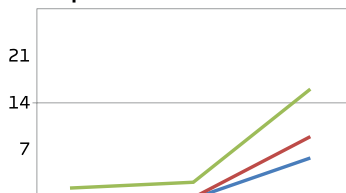
Nits tropicals (Tmín > 21°C)

Període 1984-2008: 0 – 1 nits/any

Incrementos previstos:

Període 2076-2100: Fins a **15 dies més** a l'any amb nits tropicals

Nits tropicals



	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Fluvià	0	0,1	6,2
Tordera	0,1	0,3	9,2
Siurana	1,4	2,2	16,3

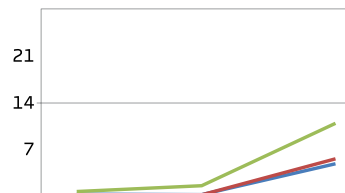
Dies molt càlids (Tmàx > 35°C)

Període 1984-2008: 0 – 1 dies/any

Incrementos previstos:

Període 2076-2100: Fins a **10 dies molt càlids més** a l'any

Dies molt càlids



	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Fluvià	0,1	0,4	5,7
Tordera	0,1	0,4	6,1
Siurana	0,9	1,6	11

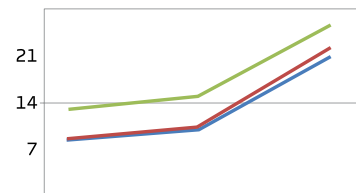
Dies càlids (Tmàx > 30°C)

Període 1984-2008: 8-13 dies/any

Incrementos previstos:

Període 2076-2100: Fins a **13 dies càlids més** a l'any

Dies càlids



	1984-2008	2006-2030	2076-2100
Fluvià	8,1	9,7	20,9
Tordera	8,7	10,6	22,6
Siurana	13,5	15,5	26,4

Increment urbanització (2000-2005)

	Urbà i ass. 00	Urbà i ass. 05	% increment
Fluvià	2.358	2.857	21%
Tordera	5.053	7.681	52%
Siurana	549	874	59%

Increment poblacional (2008-2030)

	Població 2008	Població est. 2030*	% increment
Fluvià	59.514	75.127	26%
Tordera	111.842	156.748	40%
Siurana	11.141	13.950	25%

* Població estimada pel 2030 a partir de dades de l'IDESCAT per l'escenari socioeconòmic tendencial

3 Vulnerabilitats

Augment de la mortalitat humana associada a les temperatures elevades

Comportament previst:

Diversos estudis* relacionen les altes temperatures amb un **increment de la mortalitat** en pràcticament totes les franges d'edat.

* Linares, C. Díaz, J. "Temperaturas extremadamente elevadas y su impacto sobre la mortalidad diaria según diferentes grupos de edad". Gac Sanit. 2008;22(2):115-9
Ballester, F. "Meteorología y salud. La relación entre la temperatura ambiental y la mortalidad". Rev. Esp. Salud Pública 1996, 70: 251-259.
"L'augment de la temperatura afecta la mortalitat" a Sostenible.cat. Enllaç: <http://ves.cat/aAvg>

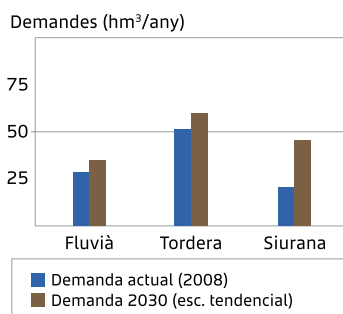
Augment de les necessitats d'aigua futures (tots els usos)

Comportament previst:

L'aigua total demandada l'any 2030 serà de fins a un **15%** més a la **Tordera**, un **22%** més al **Fluvià** i fins a un **118%** més al **Siurana** en relació a la demanda actual.

* Demandes d'aigua estimades pel 2030 per l'escenari socioeconòmic tendencial (basat en les estimacions de creixement poblacional i evolució de la demanda segons el Pla de Gestió del Districte de Conca Fluvial.

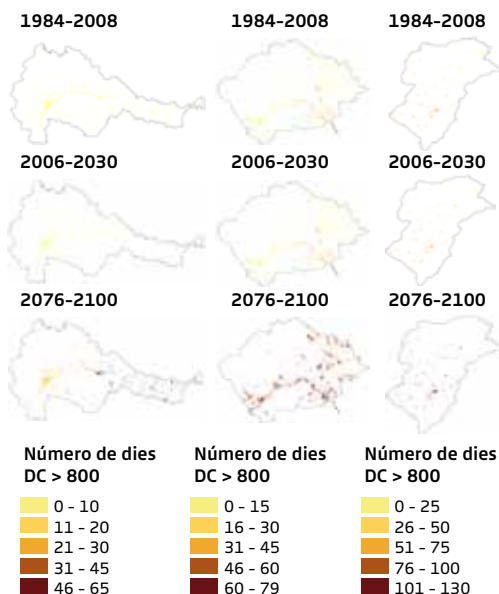
**Major exposició de la població a insectes, plagues, malalties tropicals...
Malgrat existir una elevada incertesa, els fenòmens extrems, com grans inundacions, onades de fred o de calor, nevades, tempestes violentes, etc. podrien augmentar la vulnerabilitat de la població**



Augment elevat del risc sobre béns i persones a causa del increment del risc d'incendi

Comportament previst:

A finals de segle, les **superfícies urbanes** exposades a zones de boscos amb risc d'incendi extrem **augmenten** a les **parts baixes** de les tres conques.



4 Adaptacions

- 1 Promoure la **recerca** sobre els efectes de les altes temperatures, les afeccions al·lèrgiques o els canvis en la vegetació sobre les persones
- 2 Identificar la **població sensible** a les altes temperatures en les zones sotmeses a l'efecte "illa de calor". Establir **plans d'alerta** per a aquest tipus de població
- 3 Fomentar l'**eficiència energètica** dels habitatges i equipaments
- 4 Potenciar la recerca i la utilització de les **energies renovables**
- 5 Promoure l'**autosuficiència energètica i l'optimització** en l'ús de l'aigua en totes les edificacions públiques o privades, residencials, agrícoles, industrials o de serveis
- 6 Afavorir l'**estalvi** d'aigua mitjançant incentius que en fomentin l'**ús racional** i la seva reutilització.
- 7 Estudiar mesures per tal **d'adaptar l'oferta futura** d'aigua a una demanda creixent i una disminució progressiva dels recursos hidrològics
- 8 Aplicar la **xerojardineria** en els espais públics
- 9 Incloure **criteris de sostenibilitat** en la planificació urbanística per encarar el nou escenari climàtic
- 10 Orientar el nou creixement urbà a la densificació de zones existents de baixa densitat (tendir a un **urbanisme compacte**).
- 11 Promoure la **rehabilitació d'edificacions** abans que l'ocupació de nou sòl.

5 Incerteses

Les estimacions poblacionals es basen en supòsits migratoris que podrien ser diferents en un futur.

Aquestes anàlisis no incorporen els efectes de futures crisis econòmiques

5. Referències

- Agència Catalana de l'Aigua, 2002. Planificació de l'espai fluvial de la conca de la Tordera. Estudis previs. ACA, Barcelona, 28 p.
- Agència Catalana de l'Aigua, 2005. Pla Sectorial de Cabals de Manteniment de les conques internes de Catalunya. Novembre 2005.
- Agència Catalana de l'Aigua, 2002. Estudi d'actualització de l'avaluació de recursos hídrics de les conques internes de Catalunya i conques catalanes de l'Ebre. Clau:AT-10/4. Desembre 2002.
- Agència Catalana de l'Aigua, 2007. La situació actual d'excepcionalitat en el context històric. 29 de març de 2007.
- Agència Catalana de l'Aigua, 2009. Aigua i canvi climàtic. Diagnosi dels impactes previstos a Catalunya: 3er Conveni Agència Catalana de l'Aigua - Fundació Nova Cultura de l'Aigua.
- Agència Catalana de l'Aigua, 2010. Estimació i prognosi de la demanda d'aigua a Catalunya. Bases tècniques. Usos urbans, usos agrícoles, usos industrials i recreatius, resultats. Febrer 2010
- Agència Catalana de l'Aigua, 2010. Pla de gestió del districte de conca fluvial de Catalunya
- Aggarwal PK. 2003. Impact of climate change on Indian agriculture. *J. Plant Biol.*, 30: 89-198
- Aggarwal PK. 2008. Global climate change and Indian agriculture: impacts, adaptation and mitigation. *Indian J Agric Sci* 78 (10): 911-19.
- Aguilar M, Sánchez-Rodríguez E, Pita MF. 2006. Tendència de las precipitaciones de marzo en el sur de la Península Ibérica. V Congreso de la Asociación Española de Climatología 5: 41-51, Zaragoza.
- Anglès, J. 2009. Demanda de agua virtual para la producción de alimentos en Catalunya, Déficit actual y perspectivas de futuro. Proc. 3er Congreso Agricultura, Alimentación y Medio ambiente: Gestión del H2O, usos y eficiencia. UPC (Castelldefels, Barcelona).
- Azorin-Molina C, Lopez-Bustins JA. 2008. An automated sea breeze selection technique based on regional sea-level pressure difference: WeMOI. *International Journal of Climatology* 28: 1681-1692
- Ball JT, Woodrow IE, Berry JA. (1987) A model predicting stomatal conductance and its contribution to the control of photosynthesis under different environmental conditions. A: Bingsins IJ. (Ed.) *Progress in photosynthesis research*. Vol IV (5). Dordrecht. Pp. 221-224
- Bernal S. (2006). Nitrogen storm responses in an intermittent Mediterranean stream. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.
- Borras, G., Balasch, R., & Urgell, A. 2009. Els guardians de l'Aigua. ISBN: 978-84-613-3115-4.
- Brunet M, Aguilar E, Saladié O, Sigró J, López D. 2001. The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteeth Century Onwards. A: Brunet i López (eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer. Berlín, DE, pp. 81-93.
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladié, O., Sigró, J., López, D. (2001) The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteeth Century Onwards. In: *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer. Berlin, DE, 81-93.
- Calbó et al 2010. Generalitat de Catalunya, 2010. Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.
- Calbó, J et al. 2009. Projeccions climàtiques per a Catalunya. A: Aigua i canvi climàtic. ACA. Generalitat de Catalunya
- Candela L, von Igel W, Elorza FJ, Aronica G. 2009. Impact assessment of combined climate and management scenarios on groundwater resources and associated wetland (Majorca, Spain). *Journal of Hydrology* 376: 510-527.
- Cernocky T, Sánchez-Lorenzo A, Téllez Jurado B, Martín-Vide J. 2008. Modelización cartográfica mediante SIG del coeficiente de variación de la pluviometría anual y mensual en Cataluña. En ESTRELA, M.J. (Ed.): *Riesgos climáticos y cambio*

- global en el mediterráneo español ¿hacia un clima de extremos?. CEAM, Colección Inter-ciencias UNED Alzira-Valencia, 215-233 pp.
- DAAR, Direcció General de Planificació i Relacions Agràries. 2007. Superfícies, rendiments i produccions els conreus agrícoles. Any 2007. Inf. Tècnic GENCAT. Catalunya (Espanya).
- De Luis M, González-Hidalgo JC, Longares LA, Stepanek P. 2009. Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century. *International Journal of Climatology* 29: 1312-1323.
- Dünkeloh A, Jacobeit J. 2003. Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98. *International Journal of Climatology* 23: 1843-1866.
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK. 1997. Maximum and minimum temperatures for the globe. *Science* 277: 364-367. González-Hidalgo, J.C., Lopez-Bustins, J.A., Stepanek, P., Martin-Vide, J., De Luis, M. Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, in press.
- Easterling W, Aggarwal P et al (2007) In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, (eds) Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Cambridge Univ Press, Cambridge, UK), pp 273-313.
- EPTISA, 1988. Estudio hidrogeológico del lago de Bañolas. Estudios hidrogeológicos en la cuenca hidrográfica del Pirineo Oriental.
- ESPON project. 2007. Scenarios on the territorial future of Europe. Informe de l'European Spatial Planning Observation Network. Project 3.2.
- European Environmental Agency report nº 4. 2008. Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator – based assesment. Chapters 5 and 7.
- Farquhar GD, von Caemmerer S (1982) Modeling of photosynthetic response to environment. A: Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H. (Eds). *Encyclopaedia of plant physiology*, Vol 12B. *Physiological Plant Ecology II, Water relations and carbon assimilation*. Springer. Berlin. Pp. 549-587.
- Faust, M. 1986. Research priorities for horticultural science. *HortScience* 21(6): 1475 -1480.
- Gaertner, M.A.; Castro, M. Informe de la Asistencia Técnica sobre métodos de aplicación de escenarios regionalizados de cambio climático para derivar los impactos con un modelo hidrológico de cuenca fluvial que se presenta a INCLAM, S.A. Instituto de Ciencias Ambientales Universidad de Castilla-La Mancha
- Gázquez A, Perpinyà M, Llasat MC, Peña JC. 2004. Episodios pluviométricos superiores a los 200 mm en 24 horas en Catalunya. Catalogación y configuraciones meteorológicas asociadas". En García Codrón, J.C. et al. (Eds.): *El Clima, entre el Mar y la Montaña*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A, nº 4, pp. 303-312.
- Gliessman, S.R. 1990. Agroecology: Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Chapter 1, pp3-10. In *Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture*. Edit. Gliessman, S.R. *Ecological Studies* 78. Springer Verlag.
- González-Hidalgo JC, Lopez-Bustins JA, Stepanek P, Martin-Vide J, De Luis M. Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, en premsa.
- Goudriaan, J., Rob Groot,, J.J. and Uithol, P.W.J. 2001. Productivity of agroecosystems. Chapter 13, pp 301 – 313. In *Terrestrial Global Productivity*. Edit. Roy, J., Saugier, B. and Mooney, H.A. Academic Press.
- Gracia C, Pla E, Sánchez A, Sabaté S. (2005). GOTILWA+: Un modelo de crecimiento forestal basado en procesos ecofisiológicos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 18:21-28.
- Gracia CA, S Sabaté, J. Vayreda, T Sebastià, R Savé, M Alonso i Montse Vidal. 2010. Embornals a: Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. J. Llebot Ed. Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya. 1152 pp. ISBN 978-84-9965-027-2

- Guijarro JA. 2002. Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. III Congreso de la Asociación Española de Climatología 3: 237-246, Palma.
- Honeysett JL, Ratkowsky DA. (1989) The use of ignition loss to estimate bulk density of forest soils. *Journal of Soil Science* 40: 299-308.
- Hurrell JW. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science* 269: 676-679.
- IDESCAT. 2009. Projeccions de població 2021-2041 (base 2008). Principals resultats. Generalitat de Catalunya
- Institut d'Estadística de Catalunya, 2009. Projeccions de població 2021-2041 (base 2008). Principals resultats. Estadística Demogràfica. Projeccions. Generalitat de Catalunya.
- IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge (UK), 881 pp.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)].* IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC, 2004, 2007. *Climate Change.* Cambridge University Press.
- IPCC. 2007. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2007)* <http://www.ipcc.ch>
- Jarvis PG, Mcnaughton KG. (1986) Stomatal Control of Transpiration: Scaling Up from Leaf to Region. *Advances in Ecological Research* 15: 1-49.
- Jiménez-Martínez J, Candela L, Molinero J, Tamoh K. (2010) Groundwater recharge in irrigated semi-arid areas with different crops. Quantitative hydrological modelling and sensitivity analysis. *Hydrogeology Journal* (DOI: 10.1007/s10040-010-0658-1).
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Bruno R, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.
- Larcher, W. 1980, 1995. *Physiological Plant Ecology.* Springer-Verlag. Berlin.
- Levitt, J. 1980. *Responses of Plants to Environmental Stresses.* Vols. 1 and 2. T.T. Kozlowski Edit. Academic Press. New York.
- Llebot, J.E. 2010. *El Canvi Climàtic de Catalunya. 2n informe del Grup d'Experts en canvi Climàtic de Catalunya.* Generalitat de Catalunya.
- Loepfe L, Martínez-Vilalta J, Oliveres J, Piñol J, Lloret F. (2010). Feedbacks between fuel reduction and landscape homogenisation determine fire regimes in three Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management* 259: 2366-2374
- Lopez-Bustins JA, Martín-Vide J, Sanchez-Lorenzo, A. 2008. Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change*, Volume 63, Issues 2-3, Pages 171-176.
- López-Bustins JA. 2007. *L'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental i la Precipitació als Països Catalans.* Tesi doctoral, inèdita, 400 p.
- López-Bustins, J.A. 2004. *Anàlisi de la precipitació diària al quadrant nord-occidental de la Mediterrània: classificació de situacions sinòptiques, aplicació d'índexs de variabilitat i anàlisi de factors externs.* Tesina del Programa de Doctorat "Geografia, Paisatge i Medi Ambient", Universitat de Barcelona. 215 p., inèdit.
- Martín-Vide J, Fernández Belmonte D. 2001. El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones Geográficas* 26: 41-58.
- Martin-Vide J, Lopez-Bustins JA. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26 (11): 1455-1475.
- Martin-Vide J, Lopez-Bustins JA. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian

- Peninsula. *International Journal of Climatology* 26 (11): 1455-1475.
- Martín-Vide J, Olcina Cantos J. 2001. *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, Madrid, 258 p.
- Martín-Vide J. 1996. Decálogo de la pluviometría española. En Marzol, M^a V.; Dorta, P. y Valladares, P.(Eds.): *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, 15-24, Universidad de La Laguna, A.G.E.
- Maugeri M, Brunetti M, Monti F, Nanni T. 2004. Sea-Level pressure variability in the Po plain (1765-2000) from homogenized daily secular records. *International Journal of Climatology* 24: 437-455.
- Millán M, Estrela MJ, Miró JJ. 2005. Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate* 18: 2682-2705.
- Millán MM. 2008. Perturbaciones climáticas al ciclo hídrico en la Cuenca Mediterránea Occidental: origen y propagación a escalas regional-europea y global. *Tractat de l'Aigua* 1: 24-33.
- Millán, M. M. (2008) Perturbaciones climáticas al ciclo hídrico en la Cuenca Mediterránea Occidental: origen y propagación a escalas regional-europea y global. *Tractat de l'Aigua* 1: 24-33.
- Mitchell, TD, TR Carter, PD Jones, M Hulme, M New (2004) A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper 55, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 30 pp.
- Monteith JL. (1965) Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 19: 205-234.
- Morales P, Sykes MT, Prentice IC, Smith P, Smith B, Bugmann HB, Zierl B, Friedlingstein P, Viovy N, Sabaté S, Sánchez A, Pla E, Gracia CA, Sitch S, Arneth A, Ogee, J. (2005) Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomes. *Global Change Biology*, 11, 2211-2233
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 50(3):885-900
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002). Soil and water assessment tool. Theoretical documentation. Version 2000. Texas Water Resources Institute Report TR-191, Texas, USA, 458p.
- Ninyerola, M, Pons X, Roure, JM. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*. 20: 1823-1841
- Ninyerola, M.; Pons, X. i Roure, JM. 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*. 20: 1823-1841.
- Nix, H.A. (1986) A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. In: *Atlas of Elapid Snakes of Australia*. (Ed.) R. Longmore, pp. 4-15. Australian Flora and Fauna Series Number 7. Australian Government Publishing Service: Canberra.
- Norrant C, Douguédroit A. 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and Applied Climatology* 83: 89-106.
- Olcina Cantos J. 2001. Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural. En: Gil Olcina A, Morales Gil A. *Causas y consecuencias de las sequías en España*, 49-110.
- Paredes D, Trigo RM, Garcia-Herrera R, Trigo IF. 2006. Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology* 7: 101-113.
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), 2008. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Gobierno de España.
- Piñol J, Lledó MJ, Escarré A. (1991) Hydrological balance of two Mediterranean forested catchments

(Prades, northeast Spain). *Hydrological Sciences Journal* 36: 95-107

Piñol J, Terradas J, Lloret F. (1998) Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in Coastal Eastern Spain. *Climatic Change* 38: 345-357.

Piñol, J. (1990). Hidrologia i biogeoquímica de conques forestades de les Muntanyes de Prades. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona.

Piñol, J., J. Terradas, and F. Lloret. 1998. Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 38: 345-357.

Porta J, López-Acevedo M, Roquero C. (1993) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa. Madrid.

Projecte ACCUA. 2009. ESCENARIS A ACCUA. Estratègia per a la seva definició. Informe intern.

PTOP. 2008, 2009. 2010. Plans Territorial Parcials del camp de Tarragona, de les comarques gironines i de l'àmbit metropolità. Projectes en diversos graus d'avenç en l'aprovació. <http://www10.gencat.cat/ptop/AppJava/cat/plans/parcials/index1.jsp>. Generalitat de Catalunya.

Rambal S. (1993) The differential role of mechanisms for drought resistance in a Mediterranean evergreen shrub: a simulation approach. *Plant, Cell and Environment* 16: 35-44.

Richman MB. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology* 6: 293-335.

Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 8: 1204-1213

Rodà F, Retana J, Bellot J, Gracia CA. (Eds.) (1999) Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests. *Ecological Studies* 137 Analysis and Synthesis. Springer. Berlin.

Rodríguez-Puebla C, Encinas AH, Sáenz J. 2001. Winter precipitation over the Iberian Peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences* 5 (2): 233-244.

Rosenzweig, C. and Tubiello, F. N., 1997. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: current methodologies and future directions. An introductory essay. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1 (3), pp. 219-232.

Sabaté S, Gracia C, Sánchez A. (2002). Likely effects of Climate Change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean Region. *Forest Ecology and Management*. 5906:1-15.

Saladié O, Brunet M, Aguilar E, Sigró J, López D. 2006. Análisis de la tendencia de la precipitación de primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003. V Congreso de la Asociación Española de Climatología 5: 475-485, Zaragoza.

Saladié, O., Brunet, M., Aguilar, E., Sigró, J., López, D. (2007) Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del Sector Nororiental de la Península Ibérica (1850-2000). Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain.

Savé, R. 2009. What is stress and how to deal with ornamental plants? *Acta Horticulturae*. 813 :241 – 254.

Savé, R., De Herralde, F., Aranda, X., & Biel, C. 2009. Estalvi d'aigua en l'agricultura: la investigació agrícola. En *Els guardians de l'Aigua*. ISBN: 978-84-613-3115-4.

Schröter D., W. Cramer, R. Leemans, I.C. Prentice, M.B. Araújo, N.W. Arnell, A. Bondeau, H. Bugmann, T.R. Carter, C.A. Gracia, A.C. de la Vega-Leinert, M. Erhard, F. Ewert, M. Glendining, J.I. House, S. Kankaanpää, R.J.T. Klein, S. Lavorel, M. Lindner, M.J. Metzger, J. Meyer, T.D. Mitchell, I. Reginster, M. Rounsevell, S. Sabaté, S. Sitch, B. Smith, J. Smith, P. Smith, M.T. Sykes, K. Thonicke, W. Thuiller, G. Tuck, S. Zaehle, B. Zierl. (2005). Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science* 310 (5752), 1333-1337. (Published online first 27 Oct. 2005; 10.1126/science.1115233 Science Express).

Sheffield, J. and Wood, E.F. 2008. Projected changes in drought occurrence under future global

warming from multi – model, multiscenario, IPCC AR4 simulations. *Clim. Dyn.* 31:79 – 105.

Shinozaki K, Yoda K, Hozumi K, Kira T. (1964) A quantitative analysis of plant form- pipe model theory. I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology.* 14: 97-105.

Stefanicki G, Talkner P, Weber RO. 1998. Frequency Changes of Weather Types in the Alpine Region since 1945. *Theoretical and Applied Climatology* 60: 47-61.

Stepanek, P. (2007) AnClim – software for time series analysis (for Windows). Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno. 1.47 MB.
Stepanek, P. 2007. AnClim – Software for Time Series Analysis. Dept of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.

Terradas, J. 2010. *Ecologia viscuda*. Publicacions de l'Universitat de Valencia. Valencia

Terradas, J. and Savé, R. 1992. Summer-winter double stress and water relationships as clue factors in the distribution of *Quercus ilex* L. *Vegetatio* 99-100:137-145.

Thompson WJ, Wallace JM. 2000. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. *Journal of Climate* 13: 1000-1016.

Tubiello FN, Amthor JA et al 2007. Crop response to elevated CO₂ and world food supply, *European Journal of Agronomy*, 26(3), 215 –223

Valentini, R., Matteucci, G. and Dolman. A.J. 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forest. *Nature* 404: 861-865.

6. Agraïments i contactes

Conca del Fluvià

Mas Badia (IRTA). Joan Serra, Adriana Escudero i Marià Vilajeliu. *Contactes locals i dades de plagues de conreus*

Cooperativa Empordà de Sant Pere Pescador. Anna Cerdà. *Dades de producció i qualitat de fruiters*

Cooperativa de la Vall d'en Bas. Josep M. Ginebreda. *Dades de producció de blat de moro*

DAR. Oficina comarcal de l'Alt Empordà. Rosa Geli. *Dades de producció agrícola en els municipis de la comarca inclosos a la conca.*

DAR. Oficina comarcal de la Garrotxa. Josep Aragall. *Dades de producció agrícola en els municipis de la comarca inclosos a la conca.*

Geoservei (consultoria). Jordi Montaner. *Informació hidrogeològica de la plana fluvial del Fluvià-Muga.*

UAB. Departament de Geologia. Joan Bach. *Informació hidrogeològica de la capçalera del Fluvià.*

Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà. Josep Espigulé. *Presentació del projecte*

Consorci SIGMA la Garrotxa. David Llongarriu. *Dades de demandes d'aigua a la conca del Fluvià.*

Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa. Emili Bassols. *Presentació del projecte.*

Conca de la Tordera

Observatori de la Tordera. Martí Boada, Albert Marsiñach, Mireia Jiménez. *Contactes locals i informes periòdics de l'estat de la conca a partir del seguiment d'indicadors*

Institut d'Ecologia Aquàtica UdG. Lluís Benejam. *Dades de seguiment de cabals a les conques d'estudi, especialment la Tordera.*

Consell Comarcal de la Selva. Pep Gestí. *Projecte SELWA de participació en la gestió de l'aigua*

Cooperativa agrícola de Blanes. Agustí Robert, Francesc Busquets. *Dades de producció d'hortalisses al delta de la Tordera*

UdG. Departament de Ciències Ambientals. Josep Mas. *Informació hidrogeològica de la conca.*

Conca del Siurana

URV. Departament d'Enologia. Montserrat Nadal. *Contactes locals i estudis propis*

Consell Comarcal del Priorat. Joan Reig

DAR. Oficina comarcal de la Garrotxa. Joan Queralt. *Dades de producció agrícola en els municipis de la comarca inclosos a la conca*

Cooperativa de Gratallops. Elvira Basteiro. *Dades de producció i qualitat de vinya i vi.*

Mas Perinet de Morera de Montsant. Josep Serra. *Presentació del projecte.*

INCAVI-Reus. Xoán Elorduy, Carme Masqué. *Dades de qualitat de vinya i vi.*

DOP Oli de Siurana. Josep Baiges. *Dades de producció d'olives i oli.*

DOQ Priorat. Jordi Aixalà, Noemí Gili.

DO Montsant. Jaume Domènech

Comunitat de regants de l'embassament de Margalef. Francesc Prats. *Dades de consums d'aigua.*

ACA-Tortosa. Carlos Loaso. *Informació hidrogeològica del conca.*

DARTarragona. Anton Ballvé. *Dades de l'embassament de Margalef*

Bodegues Torres. Xavier Sort, Rosa M. Domènech. *Dades de producció i meteorològiques de les seves finques al Priorat.*

Contactes generals

Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. Andreu Manzano, Felip Ortuño, Xavier Ibáñez, Joaquim Farguell. *Dades de recursos, consums i usos d'aigua*

UdG Facultat de Física. Josep Calbó. *Models de canvi climàtic*

DPTOP. Generalitat de Catalunya. Ferran Miralles. *Plans Territorials parcials*

Agència Estatal de Meteorologia AEMET. Joan Ramon Mercè, Sara Satué. *Sèries de dades meteorològiques*

UAB. Departament de Geografia. David Saurí. *Consum domèstic d'aigua a Catalunya.*

MCRIT. Andreu Ulied. *Metodologies i models de projecció de variables socioeconòmiques.*

Institut Cerdà. Ramon Tarragona, César Muñoz. *Contrast de metodologies sobre l'efecte del canvi climàtic en regadius.*

Servei Meteorològic de Catalunya. Toni Barrera, Jordi Cunillera. *Projeccions de canvi climàtic a Catalunya.*

EPTISA Enginyeria. Ignasi Servià. *Bases de dades geogràfiques de regadius i agricultura a Catalunya.*

Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural. Direcció General de Planificació i Relacions Agràries. Francesc Reguant. *Prospectiva de l'activitat agrícola a les nostres conques d'estudi i proposta d'escenaris.*

Departament de Medi Ambient. Servei de Gestió Forestal. Xavier Clopés, Josep-Salvador Blanch. *Polítiques forestals i prospectiva de gestió als boscos de les nostres zones d'estudi i proposta d'escenaris.*

Centre Propietat Forestal. Alícia Martín, Miquel Fletas, Teresa Baiges. *Dades de gestió als boscos privats de les nostres zones d'estudi.*

ConSORCI Forestal de Catalunya. Josep M. Tusell.
Prospectiva en la gestió dels boscos privats a Catalunya i proposta d'escenaris.

UAB. Unitat de Botànica. Miquel Ninyerola, Pep Serra.
Mapes d'idoneïtat d'espècies vegetals.

Fundació Món Rural. Marc Costa, Meritxell Serret.
Presentació de resultats preliminars i proposta d'escenaris.

ICRA. Projecte SCARCE. Rafa Marcé.
Presentació de resultats preliminars

Projecte Waterchange. CRAHI (UPC) - CetAqua.
David Velasco, Àngels Cabello.
Presentació de resultats preliminars

7. Anexos

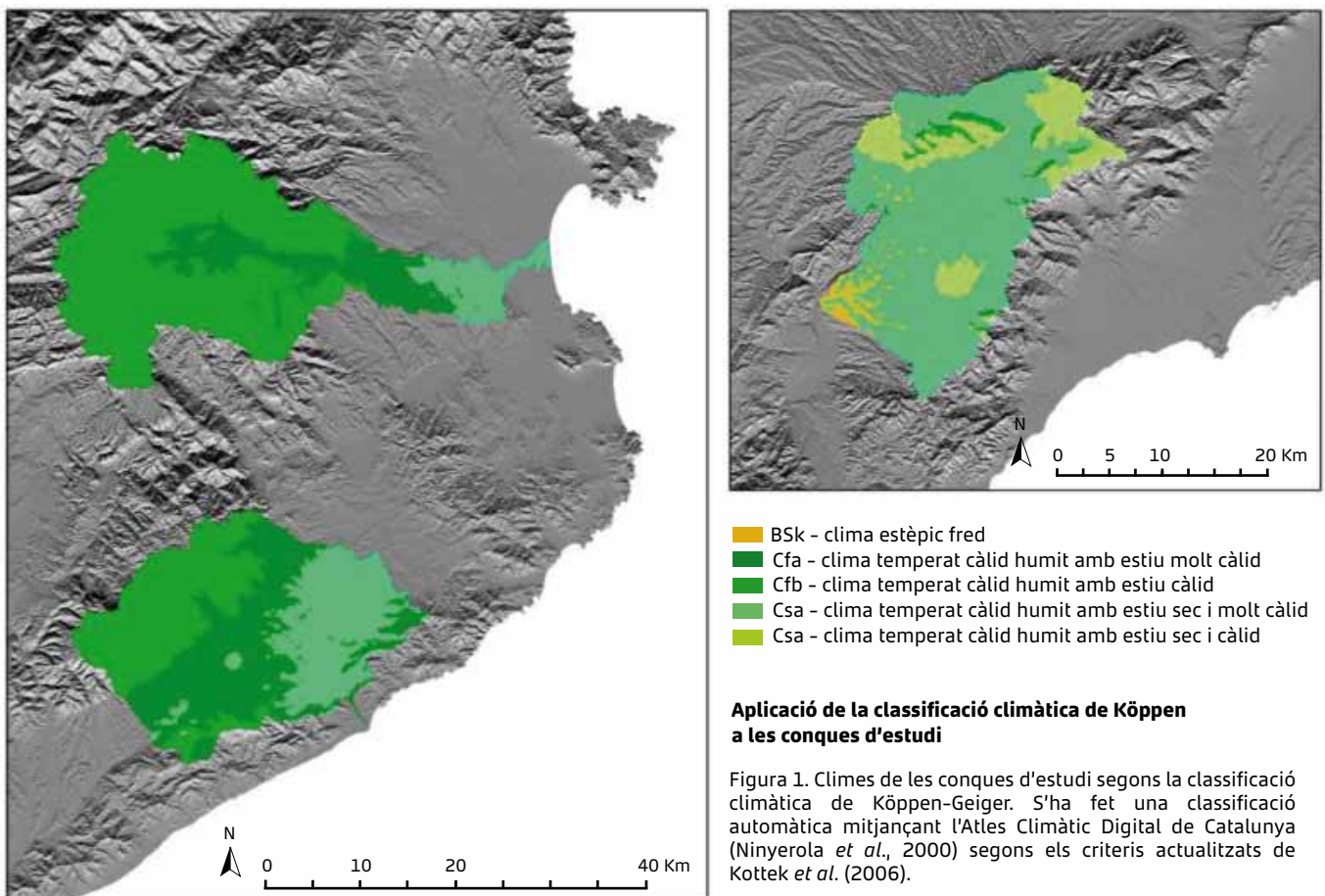
7.1. El clima observat de les conques del Fluvià, de la Tordera i del Siurana (1951-2000)

Introducció

Catalunya és sota un clima mediterrani majoritàriament. Els règims de circulació atmosfèrica de la conca mediterrània mostren un cicle estacional lligat a la circulació temperada i humida de l'oest a l'hivern i a una d'estrictament subtropical a l'estiu. El clima mediterrani s'ubica en una transició geogràfica entre el domini temperat i humit de les latituds mitjanes i l'àrea àrida i desèrtica del cinturó dels anticiclons tropicals.

Segons la classificació climàtica de Köppen-Geiger les tres conques d'estudi tenen una gran diversitat climàtica dins el context mediterrani (Figura 1). Això és a causa de la gran complexitat orogràfica de la conca mediterrània i la seva configuració semitancada a l'Atlàntic. Es poden donar diferents graus de continentalitat segons

el gradient de temperatura mar-continent, però la variable més heterogènia espacialment i temporalment és la precipitació. Mentre el clima mediterrani es caracteritza per tenir un màxim pluviomètric a l'hivern, a les àrees d'estudi (a excepció de la capçalera del Fluvià) trobem que els màxims són equinoccials tant en freqüència com en quantitat, essent la tardor més elevada en quantitat, i l'hivern sobrepasant lleugerament l'estiu (Figura 2). Específicament, la franja est de la Península Ibèrica s'ubica a sotavent de la influència atlàntica, fet que afavoreix que la tardor sigui l'estació més plujosa per una ciclogènesi pròpia de la Mediterrània, moment de l'any que les aigües marines es troben més escalfades, mentre l'hivern és relativament sec (Martín-Vide i Olcina Cantos, 2001).



Precipitació mitjana cada 10 dies (mm)

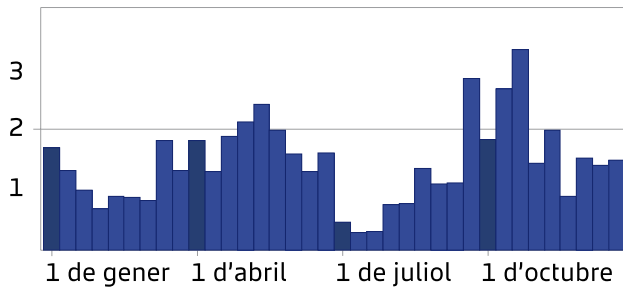


Figura 2. Calendari pluviomètric de Cabacés (el Priorat, conca del Siurana) a partir de les mitjanes de quantitats diàries en 10 dies (mm) segons el període 1971-2000. (Dades diàries de l'Agència Estatal de Meteorologia, AEMET).

Tot i que l'estudi se centra en detectar els canvis climàtics de la segona meitat del segle XX, cal veure l'evolució de la temperatura i la precipitació des d'una perspectiva més àmplia. Els augments tan significatius que ha sofert la temperatura a Catalunya durant les tres darreres dècades (Brunet *et al.*, 2001) es relativitzen si es té en compte un període de temps més llarg. Si es té en compte la integritat del segle XX els increments són més modestos, essent fins i tot no significatius en el cas de la sèrie més propera a la conca del Siurana (Tivissa) (Figura 3). Les sèries de l'Estartit i de Vilobí d'Onyar, la més llarga i propera a la conca del Fluvià i a la conca de la Tordera respectivament, sí mostren un ascens significatiu de la temperatura mitjana (Tmit) anual al llarg del segle XX segons el t-test i el test de Mann-Kendall (programa AnClim –Stepanek, 2007–). Tot i que els darrers anys han estat els més càlids mai registrats instrumentalment, a finals dels anys 40 i inicis dels 50 es van mesurar temperatures força elevades, lleugerament inferiors a les actuals.

L'evolució de la Tmit anual a l'Observatori Fabra, l'estació meteorològica amb la sèrie més llarga i fiable de Catalunya juntament amb la de l'Observatori de l'Ebre, demostra que hi ha una homogeneïtat espacial quant a la temperatura a Catalunya (Figura 4). Algunes de les sèries de temperatura que es disposen de les conques d'estudi mostren una evolució similar a la sèrie de l'Observatori Fabra. Als anys 70, la comunitat científica estava convençuda que ens dirigíem cap a un nou període glacial, però a principis dels 80 s'inicia un ascens de la temperatura mai registrat anteriorment a Catalunya. Això ha donat un ascens d'1,9 °C aproximadament en el conjunt de les tres conques d'estudi per a les tres darreres dècades. A partir dels anys 90 tenen lloc els anys més càlids a Catalunya i a les conques d'estudi dels darrers 150 anys com a mínim (Brunet *et al.*, 2001).

Temperatura mitjana anual (°C)

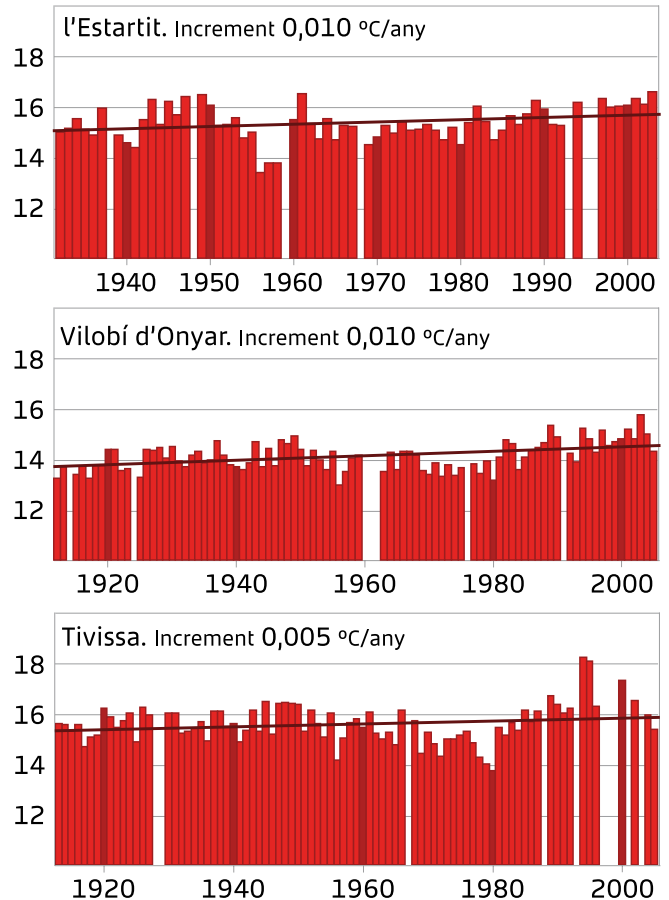


Figura 3. Evolució de la temperatura mitjana (Tmit) anual (°C) al llarg del segle XX i principis del segle XXI a l'Estartit, Vilobí d'Onyar i Tivissa. Es mostren les tendències en °C/ any. (Font: Dades mensuals de la base de dades *North Eastern Spain Air Temperature database -NESATv2-* del Grup de Recerca del Canvi Climàtica de la Universitat Rovira i Virgili).

Temperatura mitjana anual (°C)

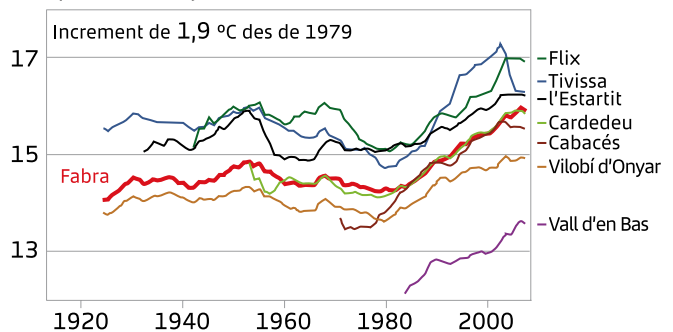


Figura 4. Mitjanes mòbils d'11 anys de diverses sèries de Tmit anual a les conques d'estudi o properes a elles. La sèrie de l'Observatori Fabra és la de referència. Font: AEMET i NESATv2.

Mentre la temperatura mostra un augment força contundent, l'evolució de la precipitació al llarg del segle XX ha estat més diversa. No hi ha una tendència clara de la precipitació. La variació de la pluviometria anual durant els darrers 100 anys en quatre de les sèries més llargues de Catalunya és gairebé nul·la tot i que comprenen períodes lleugerament diferents (Figura 5). Hi ha hagut períodes humits i de sequera com els que han tingut lloc recentment entre el 2007 i 2008. Els últims 5 anys de la dècada dels 40 foren anòmalament secs, amb registres pluviomètrics més baixos que els de 2007. D'altra banda, els registre tan elevats de finals dels 60 no s'han tornat a enregistrar. En general, es tracten d'uns cicles naturals de la precipitació que caracteritzen el clima mediterrani.

Caldria comprovar quina evolució ha tingut estacionalment la precipitació, anàlisi que es porta a terme en aquest estudi per al període 1951-2000. A grans trets, diversos treballs apunten a una davallada de la pluviometria anual al llarg de les darreres dècades a la façana oriental de la Península Ibèrica (Narrant i Douguédroit, 2006; De Luis *et al.*, 2009), i sobretot a l'estiu (Millán *et al.*, 2005), però per a l'hivern no hi ha un consens espacial (González-Hidalgo *et al.*, en premsa). El darrer Informe d'Avaluació del IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) de 2007 assenyala la Mediterrània com una de les àrees del planeta on hi ha un clar consens entre els models i els escenaris d'una reducció de precipitació a la meitat càlida de l'any per a finals del segle XXI. Pel que fa a l'hivern resten força incògnites.

Dades i mètodes

Per calcular les mitjanes pluviomètriques i termomètriques de les conques s'ha utilitzat l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (Ninyerola *et al.*, 2000). La resolució espacial de l'atles és de 180 m x 180 m i té un format ràster. Per fer la cartografia de l'atles es van emprar 160 estacions meteorològiques amb registres de temperatura (1 estació per 200 km²) i 257 estacions meteorològiques amb registres de precipitació (1 estació per 125 km²) que tenien dades entre 15 i 20 anys durant el període 1951-1999.

Per fer una anàlisi de tendències i canvis en les variables climàtiques cal estudiar l'evolució

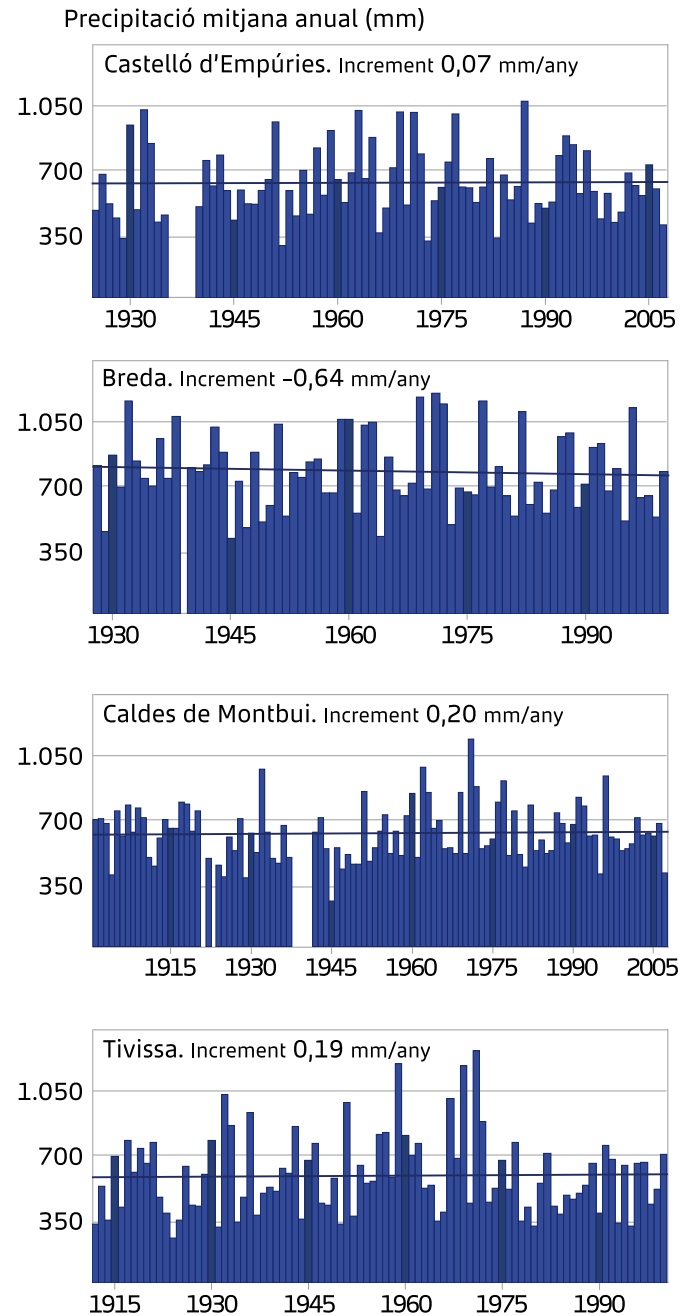


Figura 5. Evolució de la precipitació mitjana anual (mm) al llarg del segle XX i principis del segle XXI a Castelló d'Empúries (el Fluvià), Breda (la Tordera), Caldes de Montbui i Tivissa (el Siurana). Es mostren les tendències en mm/ any. (Dades mensuals de la base de dades *North Eastern Spain Adjusted Precipitation dataset -NESAP-* del Grup de Recerca del Canvi Climàtica de la Universitat Rovira i Virgili). (La sèrie de Castelló d'Empúries s'ha complementat amb el període 1995-2007 amb dades de l'AEMET, i a la sèrie de Caldes de Montbui s'ha afegit el període 2001-2007 amb dades de la Torre Marimon).

temporal de les sèries. S'han emprat 6 sèries de temperatura de la base de dades *North Eastern Spain Air Temperature database (NESATv2)* (Brunet *et al.*, 2001), tenint en compte que l'evolució temporal de la temperatura és força homogènia espacialment (Figura 6). En canvi, la base de dades de precipitació s'ha elaborat a partir de 49 sèries que es troben dins un *buffer* de 10 km de la conca d'estudi: 44 de la base MOPREDAMES (*Monthly Precipitation Dataset, Mediterranean Spain*) (González-Hidalgo *et al.*, en premsa), 4 de *North Eastern Spain Adjusted Precipitation dataset (NESAP)* (Saladié *et al.*, 2007) i 1 de Météo-France (Figura 6). La irregularitat espacial de la precipitació requereix un major nombre de sèries per determinar zones localitzades amb determinats comportaments pluviomètrics. En aquest estudi també s'aprofundeix en l'estudi de la variabilitat pluviomètrica perquè la disponibilitat de recursos hídrics és clau en el projecte ACCUA. El període d'estudi d'evolució temporal és el 1951-2000 que coincideix amb el de l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya. No obstant, l'hivern comprèn el període 1951/52-1999/2000 i té un valor menys que les altres estacions en algunes anàlisis de l'estudi. Les estacions de l'any en climatologia convencional es consideren de la següent forma: primavera (març, abril i maig), estiu (juny, juliol i agost), tardor (setembre, octubre i novembre) i hivern (desembre, gener i febrer).

Es valoraran les tendències temporals de temperatura per mesos, estacional i anualment a partir de les 6 sèries de la base de dades NESATv2 tot i que la majoria de les sèries no es trobin dins les conques d'estudi.; emperò ja s'ha comentat que la temperatura té un comportament temporal més extrapolable espacialment. S'utilitzarà el programa AnClim (Stepanek, 2007) per estudiar les tendències. A partir de les dades de precipitació, també es calcularan les tendències i el coeficient de variació (CV), les mitjanes dels valors per conca es faran mitjançant tècniques GIS. Aquesta eina també ens permetrà cartografiar les tendències de precipitació per tal de poder detectar aquelles àrees que han experimentat un canvi pluviomètric significatiu. Les tendències s'estudiaran per mesos, estacionalment i anualment, però els CV només estacionalment i anualment. Totes aquestes anàlisis es complementaran amb la realització de calendaris pluviomètrics per als subperíodes



Figura 6. Localització de les 49 sèries emprades per fer l'anàlisi pluviomètrica temporal (12 sèries per al Fluvià, 22 sèries per a la Tordera i 15 sèries per al Siurana) i les 6 sèries per fer l'anàlisi de la temperatura (1 per al Fluvià, 3 per a la Tordera i 2 per al Siurana). Font: MOPREDAMES, NESAP, Météo-France i NESATv2.

1951-1975 i 1976-2000 per veure canvis en l'estacionalitat de la precipitació.

En un aprofundiment de l'estudi pluviomètric, es calcularà una sèrie mitjana de precipitació de cada conca a partir dels valors estandarditzats de les sèries compreses en el *buffer* de 10 km. Aquesta sèrie mitjana és correlacionarà amb diferents índexs de teleconnexió com per exemple l'oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO), l'oscil·lació de la Mediterrània

Occidental (WeMO) i l'oscil·lació de l'Àrtic (AO). Aquests índexs mesuren la variabilitat dels principals patrons de circulació sobre Europa. N'hi ha diversos però aquests, sobretot els dos primers, són els que en principi tenen una influència més directa en la precipitació de la Península Ibèrica (Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006). Això permetrà deduir si algunes de les evolucions recents de precipitació a les conques d'estudi és a causa de canvis en la circulació atmosfèrica a Europa.

Per últim, s'estudiaran quins episodis torrencials extrems han tingut lloc al llarg de la segona meitat del segle XX. Aquells que hagin superat els 200 mm en 24 h a partir de la base de dades de Gázquez *et al.* (2004). Al mateix temps, es compararà amb les majors crescudes de cabals que s'han registrat a la Tordera per part de l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA).

Anàlisi: Clima de les conques

Temperatura

La Tmit anual de les tres conques és similar i es troba al voltant dels 13°C. S'emmarquen

en un clima mediterrani relativament fred. No segueixen un gradient latitudinal. La conca més freda és el Fluvià i la més càlida és la Tordera (Figura 7). Al tram mitjà i baix de la Tordera la Tmit anual supera en extenses àrees els 15°C i a la conca del Siurana només sobrepassa aquest llindar a les parts més baixes. A la conca del Fluvià no hi ha pràcticament zones per sobre els 15°C. La distribució espacial de la temperatura segueix amb molta fidelitat l'orografia de la conca. La conca del Fluvià es distingeix per tenir una temperatura mínima (Tmín) anual un grau més baixa que les altres conques, que s'accentua a l'estiu. En canvi, la temperatura màxima (Tmàx) anual és més elevada a la conca de la Tordera, però superada per la de la conca del Siurana a l'estiu. La continentalitat més elevada la trobem a la conca del Fluvià, on la diferència entre les Tmín i Tmàx anuals és de 11.4°C, mentre a la conca de la Tordera i del Siurana és de 10.6°C i 10.0°C, respectivament. Tot i que el Fluvià desguassa directament al mar té una extensa àrea de capçalera molt endinsada en el continent amb relleus molt notables que pronuncien aquesta continentalitat.

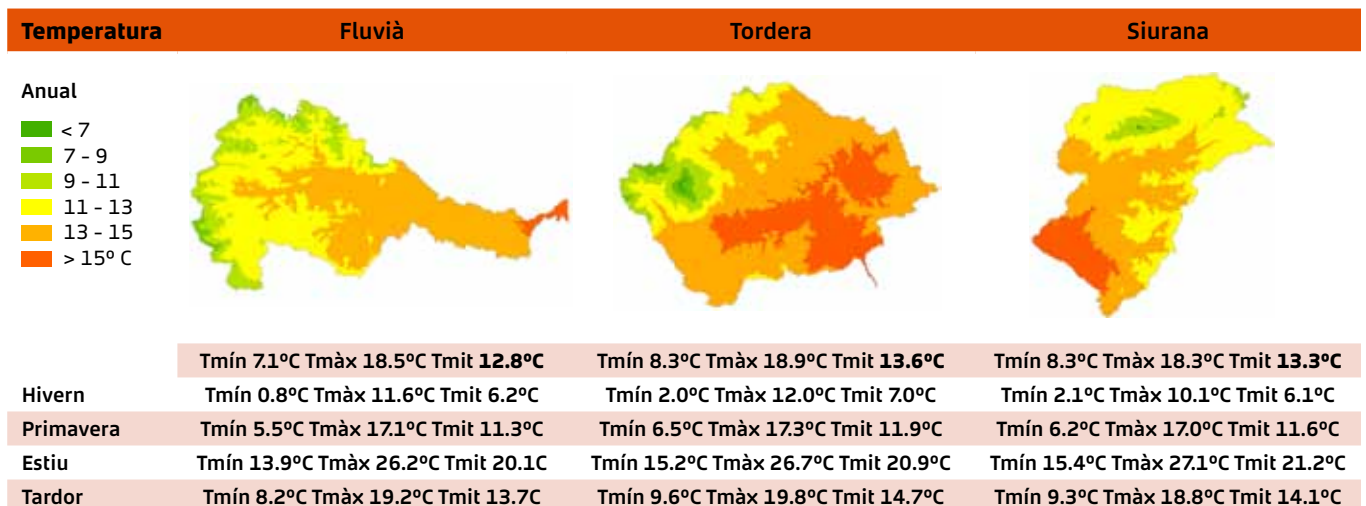


Figura 7. Temperatura mitjana (Tmit), temperatura mínima (Tmín), temperatura màxima (Tmàx) anual i per estacions segons l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (període d'estudi: 1951-1999) utilitzant tècniques GIS a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial de la Tmit anual per a cada conca d'estudi.

Precipitació

La precipitació mitjana anual de les conques justifica la selecció d'aquestes. Totes tres mostren mitjanes pluviomètriques atribuïbles a un clima

mediterrani però amb matisos latitudinals força diferenciats tot i la proximitat geogràfica entre elles. Si observem la Figura 8 podem detectar que les aportacions hídriques són molt distintes entre la conca del Fluvià i la del Siurana. Mentre

la primera es troba totalment dins el domini que podem considerar la Catalunya humida (llindar 700 mm), la conca del Siurana és representativa de la Catalunya seca. La conca de la Tordera en ubicar-se en una latitud intermitja de les altres dues conques té una capçalera més similar a la conca del Fluvià però un tram baix típic del clima mediterrani més sec com la conca del Siurana.

El clima mediterrani es caracteritza per tenir una equinoccialitat de la pluviometria, amb un màxim tardorenc en el cas de la vessant oriental de la Península Ibèrica, amb un mínim estival que es reflecteix amb exactitud a les conques de la Tordera i el Siurana (Figura 8). En canvi, la conca del Fluvià tot i estar sota un àmbit mediterrani, té forts trets de clima de muntanya en trobar-se la seva capçalera en el Pirineu Oriental. Una prova evident és el fet que l'estiu sigui l'estació més plujosa juntament amb la tardor. Martín-Vide i Olcina (2001) van arribar a comptabilitzar fins a 13 règims de precipitació dels 24 possibles a la Península Ibèrica, que resulten de l'ordenació decreixen de les quantitats mitjanes de les quatre estacions de l'any. De les 3 conques d'estudi, obtenim ja 2 règims diferents. La conca Mediterrània es caracteritza precisament per tenir un ampli ventall de règims de precipitació.

El CV és una mesura de dispersió relativa per comparar les variabilitats pluviomètriques de diferents observatoris i es defineix com el simple

quocient entre la desviació típica i la mitjana, i es pot optar per expressar-ho en percentatge: $CV = (S/X) \cdot 100$ (%). Aquest indicador del comportament de la precipitació també mostra que la variabilitat de la precipitació segueix un gradient latitudinal nord-sud. Les variabilitats més elevades de precipitació a la Península Ibèrica s'han detectat a la conca del Segura (Martín-Vide, 1996). El caràcter mediterrani de la precipitació segueix un gradient nord-sud i oest-est en el context ibèric. A la Figura 9 és palès l'increment de la variabilitat de la precipitació tant anual com estacional en disminuir la latitud. Anualment, la conca del Fluvià es caracteritza per una variabilitat moderada de la precipitació, mentre la conca de la Tordera per una de moderadament elevada. L'Empordà i les Terres de l'Ebre es caracteritzen per tenir els CV més elevats de Catalunya (Cernocky *et al.*, 2008), això és coherent amb el CV obtingut a la desembocadura del Fluvià i a la part més meridional de la conca del Siurana.

Estacionalment, els valors del CV són més elevats òbviament en haver-hi una major dispersió dels totals pluviomètrics. Per exemple, l'hivern obté uns valors molt alts perquè en alguns anys la precipitació pot ser molt eduïda com a l'estiu mediterrani sota situacions dominades per anticiclons, tèrmics principalment, o donar-se episodis de pluja intensa com a la tardor. Les altres estacions tenen uns valors moderadament elevats a les conques del Fluvià i la Tordera, i alts i molt alts a la del Siurana.

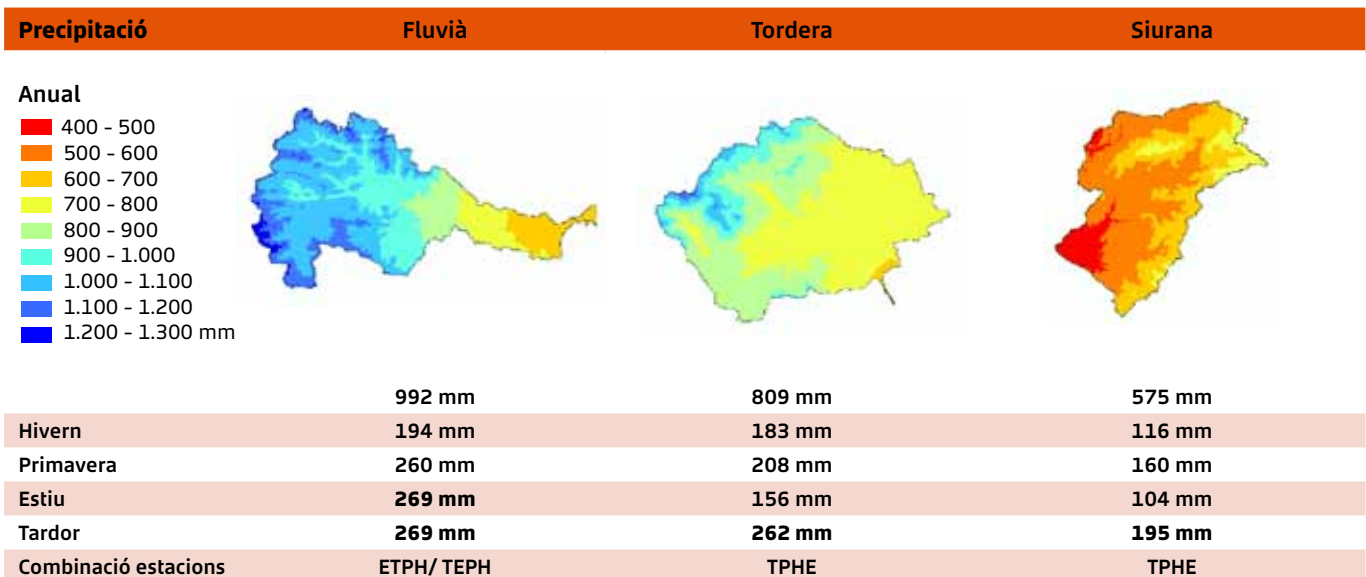


Figura 8. Precipitació mitjana anual i per estacions segons l'Atlas Climàtic Digital de Catalunya (període d'estudi: 1951-1999) utilitzant tècniques GIS, i règims pluviomètrics a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial de la precipitació mitjana anual per a cada conca d'estudi.

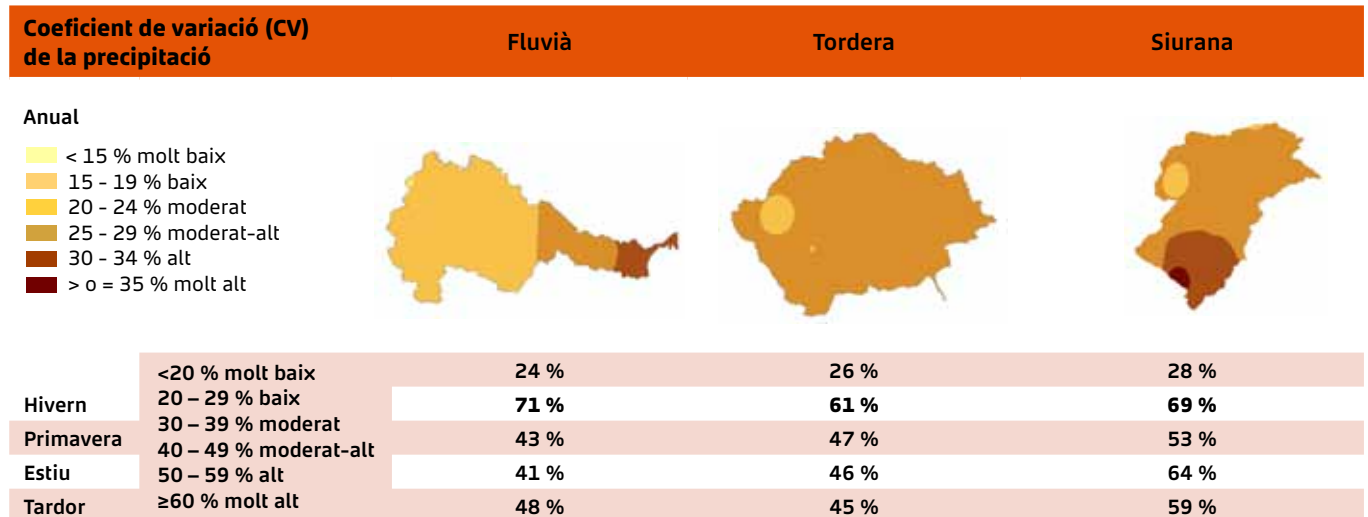


Figura 9. Coeficient de variació (CV) mitjà de la precipitació segons les sèries de les bases de dades de la Figura 6 utilitzant tècniques GIS a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana. Es mostra la distribució espacial del CV anual per a cada conca d'estudi.

Influència dels principals patrons de circulació en la precipitació

La variabilitat dels patrons de circulació atmosfèrica es poden quantificar mitjançant els índexs de teleconnexió. Aquests mesuren la variabilitat de la pressió atmosfèrica entre dos punts geogràfics relativament allunyats. Per exemple, la NAO i l'AO detecten l'oscil·lació de les circulacions de l'oest sobre Europa. La NAO se centra en l'àmbit estret de l'Atlàntic Nord, i l'AO, en ser l'extensió de la NAO fins al Pol Nord (Thompson i Wallace, 2000), detecta canvis de circulació entre les latituds més septentrionals i l'Europa Central. Però, en canvi, la WeMO permet detectar circulacions més regionalitzades (Martín-Vide i López-Bustins, 2006).

Anualment, aquests índexs no tenen una influència sobre la precipitació, però sí estacionalment (Taula 1). Els patrons de circulació atmosfèrica prenen una major dinàmica a la meitat freda de l'any i les circulacions regionals de la Mediterrània estan fortament lligades a aquests modes de l'Hemisferi Boreal (NAO i AO) (Düneloh i Jacobeit, 2003). D'aquí que s'obtinguin les correlacions més elevades a l'estació més freda de l'any.

A l'estiu, els camps de pressió són més homogenis sobre la Mediterrània i els vents de l'oest es debiliten, per això, els índexs de teleconnexió no es correlacionen amb la precipitació de les conques d'estudi. A la meitat càlida de l'any prenen força les circulacions locals de vent vinculades a fronts de

brises que donen lloc a precipitacions convectives (Azorin-Molina i Lopez-Bustins, 2008). Aquestes precipitacions precisament són les que fan que l'estiu sigui una estació especialment humida a la capçalera del Fluvià.

El comportament de la precipitació primaveral a les conques d'estudi es troba sota el domini de la NAO en la seva fase negativa. És coherent amb els resultats d'estudis anteriors (Rodríguez-Puebla *et al.*, 2001; Martín-Vide i Fernández Belmonte, 2001). A la tardor, en canvi, es detecta una influència total de la WeMO. En aquesta estació és quan la WeMO té un paper molt important per explicar la precipitació de la façana oriental de la Península Ibèrica ja que les circulacions de l'Atlàntic queden totalment supeditades a la ciclogènesi Mediterrània, afavorida per unes aigües marines escalfades (Guijarro, 2002). L'hivern té unes altes correlacions amb tots els índexs de teleconnexió, de fet, és en l'única estació que l'AO té una influència significativa en una de les conques d'estudi. És en la del Siurana, on la NAO també hi té la influència més elevada de les 3. A la Tordera, la NAO també té una correlació elevada amb la precipitació per sobre de l'obtinguda amb la WeMO. No obstant, cal destacar que el Fluvià continua estant sota la influència de la WeMO també a l'hivern, coherent amb la caracterització pluviomètrica mediterrània atribuïda al Pirineu Oriental a l'estació hivernal (López-Bustins, 2007).

	Índex de teleconnexió	Fluvià	Tordera	Siurana
Primavera	WeMO	-0.10	-0.10	-0.06
	NAO	-0.37	-0.34	-0.37
	AO	-0.07	-0.05	-0.03
Estiu	WeMO	0.21	0.22	0.17
	NAO	-0.08	-0.06	-0.10
	AO	-0.13	-0.11	-0.12
Tardor	WeMO	-0.34	-0.33	-0.44
	NAO	-0.22	-0.14	-0.14
	AO	-0.01	0.08	0.20
Hivern	WeMO	-0.50	-0.39	-0.40
	NAO	-0.44	-0.50	-0.59
	AO	-0.05	-0.19	-0.36
Anual	WeMO	-0.13	-0.09	-0.19
	NAO	-0.09	-0.09	-0.14
	AO	0.00	-0.05	-0.08

Taula 1. Coeficients de correlació de Pearson entre la precipitació i el WeMO, NAO i AO. Els valors en negreta són significatius al 95% del nivell de confiança.

Canvis en la temperatura i precipitació

Tendències recents de la temperatura

Les darreres tendències de temperatura mostren que hi ha un augment evident a la segona meitat del segle XX a les conques d'estudi, com ja s'ha evidenciat a la Figura 4. Les temperatures mínimes han augmentat més que les màximes. Això fou el que ja detectaren Brunet *et al.* (2001) per al conjunt de les sèries de Catalunya per al període 1975-1998. Aquest fenomen és contrari a la tendència global en què s'està detectant un increment de les Tmín superior a la de les Tmàx (Easterling, 1997).

Els augments més significatius s'han detectat a l'estiu, sobretot, als mesos de juliol i agost. Els increments més moderats, amb molt poques sèries significatives, han tingut lloc a la primavera i a la tardor. Aquests resultats discrepen lleugerament dels trobats per Brunet *et al.* (2001). El seu estudi mostra com els augments més significatius en el conjunt de Catalunya han tingut lloc a la primavera i a l'estiu, i els més moderats a l'hivern i a la tardor. Les sèries que han detectat uns augments més significatius han estat Tivissa, Cardedeu i l'Estartit, és a dir, una sèrie representativa de cada conca d'estudi. Cal comentar que els augments detectats a la sèrie de Flix només són significatius a l'estiu.

En general, la temperatura s'ha incrementat al llarg del període d'estudi 1951-2000 al voltant d'un 1,25°C a les conques d'estudi, 1,5°C les Tmàx i

0,5°C les Tmín. Independentment de la significació estadística, l'hivern i l'estiu són les estacions que presenten uns major augments. Són increments al voltant d'1,5°C de la Tmit en ambdues estacions, i de gairebé 2°C en el cas de les Tmàx estivals. Les estacions equinoccials mostren un augment més moderat al voltant d'1°C en el cas de les Tmàx i de poc més de 0,5°C en les Tmín. Les sèries de Tivissa i Cardedeu són les que tenen els augments més destacats al llarg de la segona meitat del segle XX. Cal destacar els 2,3°C de les Tmín de Tivissa i els 2,20°C de les Tmàx de Cardedeu.

Tendències recents de la precipitació

A grans trets no hi hagut variacions significatives de la precipitació a les conques d'estudi al llarg de la segona meitat del segle XX. S'apunta a una certa tendència general a la davallada, que arriba ser significativa a l'estiu a la conca del Siurana (Taula 3 i Figura 10). L'hivern és l'única estació de l'any que mostra un cert augment (Taula 3 i Figura 11).

Anualment, hi ha estudis com el de Norrant i Douguédorit (2006) que també han detectat un descens generalitzat a la façana oriental de la Península Ibèrica durant el període 1950-2000. Millán (2008) apunta a un descens recent de les precipitacions convectives estivals als relleus prelitorals arreu de la conca occidental de la Mediterrània. Aquest darrer resultat és coherent amb les reduccions significatives que hem detectat a les nostres conques d'estudi al mes de juliol.

	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	l'Estartit
Altitud (m)	310	56	195	1,708	129	2
Conca	Siurana	Siurana	Tordera	Tordera	Tordera	Fluvià
T mínima	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	l'Estartit
Gener	0.045	0.000	0.025	0.029	0.015	0.028
Febrer	0.050	0.031	0.032	0.058	0.038	0.042
Març	0.025	0.019	0.009	0.034	0.000	0.006
Abril	0.004	0.003	0.006	-0.005	-0.005	0.004
Maig	0.042	0.017	0.017	0.006	0.003	0.017
Juny	0.034	0.018	0.032	0.013	0.011	0.018
Juliol	0.044	0.023	0.035	0.008	0.016	0.022
Agost	0.056	0.043	0.048	0.028	0.030	0.045
Setembre	0.013	0.019	0.008	0.001	0.000	0.006
Octubre	0.024	0.001	0.015	0.017	0.012	0.020
Novembre	0.039	0.017	0.037	0.027	0.017	0.029
Desembre	0.040	0.002	0.048	0.009	0.019	0.024
Hivern	0.045	0.009	0.029	0.029	0.026	0.032
Primavera	0.025	0.012	0.010	0.001	0.000	0.009
Estiu	0.046	0.024	0.039	0.017	0.020	0.028
Tardor	0.025	0.011	0.021	0.015	0.010	0.018
Anual	0.034	0.011	0.026	0.020	0.014	0.022
T màxima	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	l'Estartit
Gener	0.042	-0.018	0.043	0.035	0.027	0.010
Febrer	0.036	0.024	0.065	0.073	0.052	0.046
Març	0.034	0.021	0.045	0.040	0.040	0.045
Abril	0.009	0.020	0.025	0.022	0.013	0.008
Maig	0.012	0.015	0.022	0.007	0.015	0.002
Juny	0.016	0.029	0.026	0.039	0.031	0.013
Juliol	0.016	0.027	0.034	0.038	0.034	0.023
Agost	0.033	0.047	0.059	0.058	0.057	0.072
Setembre	0.031	0.014	0.012	0.049	0.020	0.039
Octubre	0.018	0.018	0.012	0.012	0.019	0.014
Novembre	0.034	0.019	0.016	0.007	0.020	0.027
Desembre	0.049	0.006	0.034	-0.007	0.020	0.021
Hivern	0.042	0.004	0.043	0.031	0.034	0.024
Primavera	0.018	0.019	0.03	0.023	0.022	0.018
Estiu	0.023	0.033	0.04	0.045	0.042	0.036
Tardor	0.030	0.014	0.013	0.023	0.016	0.028
Anual	0.029	0.014	0.033	0.029	0.034	0.029
T mitjana	Tivissa	Flix	Cardedeu	Montseny	Vilobí d'Onyar	l'Estartit
Gener	0.043	-0.009	0.034	0.032	0.021	0.019
Febrer	0.043	0.028	0.049	0.066	0.045	0.044
Març	0.031	0.020	0.027	0.037	0.021	0.025
Abril	0.007	0.012	0.015	0.007	0.007	0.007
Maig	0.027	0.016	0.021	0.008	0.009	0.010
Juny	0.026	0.024	0.029	0.027	0.021	0.016
Juliol	0.032	0.026	0.036	0.024	0.027	0.024
Agost	0.045	0.045	0.054	0.044	0.044	0.058
Setembre	0.023	0.010	0.010	0.026	0.010	0.023
Octubre	0.023	0.008	0.014	0.015	0.017	0.019
Novembre	0.037	0.020	0.027	0.019	0.020	0.028
Desembre	0.045	0.008	0.040	0.002	0.020	0.023
Hivern	0.043	0.007	0.036	0.03	0.030	0.028
Primavera	0.022	0.016	0.020	0.015	0.014	0.013
Estiu	0.035	0.030	0.040	0.031	0.032	0.033
Tardor	0.028	0.012	0.017	0.019	0.013	0.024
Anual	0.031	0.013	0.030	0.025	0.025	0.026

°C/ any

t-test

Mann-Kendall non-parametric test

Els dos tests

Taula 2. Tendències de la Tmín, Tmàx i Tmit de les sèries de la base de dades NESATv2 dins o properes a les conques d'estudi per mesos, estacions i anualment.

Les reduccions significatives les hem detectat en relleus prelitorals de Catalunya com la Serra de Montsant (Figura 10).

El mes de març és un moment clau de l'any per a les reserves hídriques de cara a l'estació seca. Arreu de la Península Ibèrica s'ha detectat una reducció preocupant de la precipitació en aquest mes des de finals dels anys 60 (Saladié *et al.*, 2006; Aguilar *et al.*, 2006; Paredes *et al.*, 2006). Les nostres conques d'estudi també evidencien aquest descens sense excepció (Taula 3 i Figura 12). Aquesta

davallada de precipitació podria estar vinculada a canvis en la circulació atmosfèrica sobre Europa que s'associen a fases més positives de la NAO. Les conques d'estudi estan molt influenciades per aquest índex de teleconnexió a la primavera (Taula 1). Els valors d'aquest índex tenen una tendència positiva significativa al mes de març al llarg de la segona meitat del segle XX (López-Bustins, 2007). L'ocurrència de fases positives de la NAO implica una persistent circulació de l'oest associada a situacions anticiclòniques sobre la Península Ibèrica.

1951-2000	mm/ any	Fluvià	Tordera	Siurana
Gener		1.13	0.81	0.42
Febrer		-0.66	-0.46	-0.19
Març		-1.34	-1.03	-0.55
Abril		0.14	-0.02	0.24
Maig		0.35	-0.15	-0.02
Juny		-0.43	0.18	-0.66
Juliol		-0.48	-0.33	-0.14
Agost		-0.36	-0.28	0.05
Setembre		-0.31	-0.42	-0.64
Octubre		-0.56	-0.78	0.26
Novembre		0.09	0.17	0.11
Desembre		0.58	0.25	0.03
Primavera		-0.76	-1.19	-0.27
Estiu		-1.25	-0.43	-0.76
Tardor		-0.79	-1.04	-0.27
Hivern		0.89	0.53	0.27
Anual		-1.89	-2.06	-1.03
Almenys dues estacions dins el buffer de 10 km tenen una tendència negativa significativa				
Almenys dues estacions dins el buffer de 10 km tenen una tendència positiva significativa				

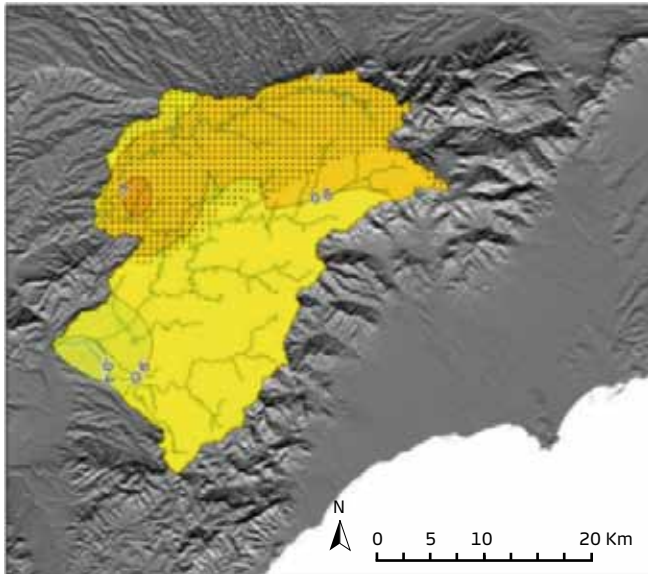
Taula 3. Tendències de la precipitació a partir de les sèries de precipitació de la Figura 6 per a cada conca d'estudi mitjançant un SIG per mesos, estacions i anualment.

Finalment, l'ascens moderat de l'estació hivernal està condicionat per un ascens significatiu al mes de gener. Aquest fenomen s'està donant en territoris de la façana oriental de la Península Ibèrica que es troben exposats orogràficament als fluxos humits del NE. Aquests estan esdevenint més freqüents en els darrers hiverns a causa de l'increment de la pressió atmosfèrica a l'Europa Central (Stefanicki *et al.*, 1998; Maugeri *et al.*, 2004). Aquest fenomen està vinculat a la tendència negativa significativa de la WeMO en aquesta estació, ja que la seva fase negativa està vinculada a la presència d'anticiclons centreeuropeus (Lopez-Bustins *et al.*,

2008). Aquesta tendència és consistent amb el fet que la conca Fluvià sigui l'única amb un ascens significatiu de la precipitació al mes de gener, perquè és en aquella conca de les tres on la WeMO té una influència per sobre de la NAO (Taula 1).

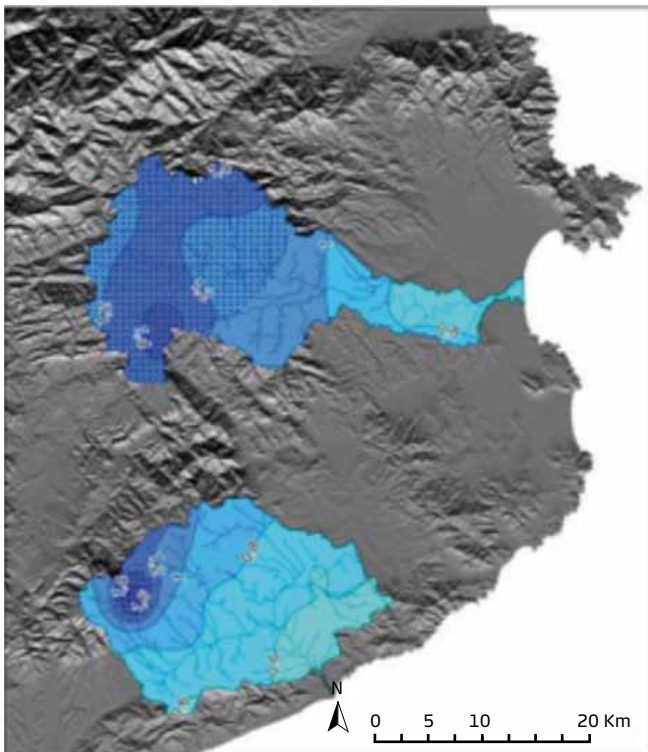
Canvis en el CV i el calendari pluviomètric

Al llarg de la segona meitat del segle XX no hem detectat canvis en la irregularitat pluviomètrica anual a les conques d'estudi (Taula 4). A nivell estacional, hi ha hagut un augment notable a l'hivern i a l'estiu, sobretot, a les conques de la



Tendència de la precipitació estival en mm/any per al període 1951-2000.
 ::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

Figura 10. Distribució espacial de la tendència de precipitació estival a la conca del Siurana per al període 1951-2000.



Tendència de la precipitació al gener en mm/any per al període 1951-2000.
 ::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

Figura 11. Distribució espacial de la tendència de precipitació del mes de gener a les conques del Fluvià i la Tordera per al període 1951-2000.

Tendència de la precipitació al març en mm/any per al període 1951-2000.

::::: Área significativa al 95 % del nivell de confiança

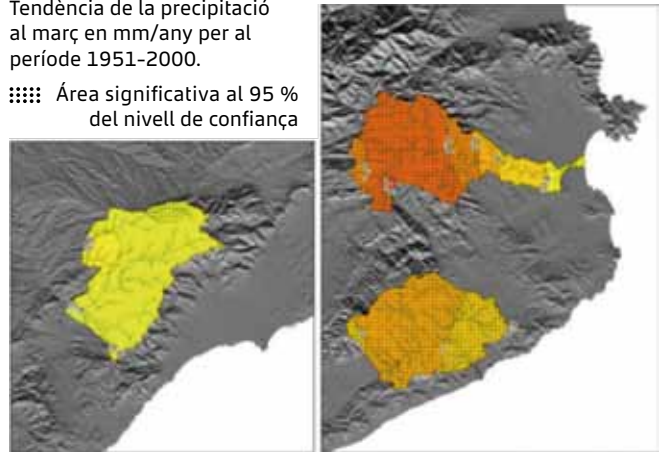


Figura 12. Distribució espacial de la tendència de precipitació del mes de març a les conques del Fluvià, la Tordera i el Siurana per al període 1951-2000.

Tordera i del Siurana. Aquest augment hivernal pot estar vinculat a un augment d'episodis de precipitació intensa a la façana oriental de la Península Ibèrica segons el que s'ha esmentat en l'apartat anterior. A l'estiu, hi ha hagut una reducció de la precipitació a les conques d'estudi, sobretot al Siurana, que podria justificar aquest augment del CV en aquesta estació de l'any. A la primavera i a la tardor s'han donat un descens del CV a totes les conques d'estudi.

Els calendaris pluviomètrics ens permeten detectar ràpidament aquells canvis en la estacionalitat de la precipitació que no són perceptibles a resolució anual. Es detecta un augment de la importància de la precipitació primaveral (a excepció del mes de març) en detriment de les pluges tardorenques. En les tendències de la Taula 3 no es detectava una significació en la davallada de la precipitació al mes de setembre, emperò en el calendari pluviomètric es percep un descens força contundent, sobretot, a la conca del Siurana (Figura 13). Es manté una equinoccialitat de la distribució temporal de les precipitacions, però més equilibrada entre ambdues estacions (primavera i tardor). El descens de precipitació estival no es tan palès com en la taula de tendències. L'augment de la precipitació en el moment central de l'hivern en detriment dels totals del mes de març es visualitza clarament en el calendari de les tres conques.

CV (en %)	Fluvià		Tordera		Siurana	
Subperíodes	1951-1975	1976-2000	1951-1975	1976-2000	1951-1975	1976-2000
Anual	24	23	26	26	29	25
Hivern	68	74	58	65	57	81
Primavera	45	42	47	45	59	45
Estiu	40	41	40	52	55	74
Tardor	52	41	48	41	59	57

	molt baix	baix	moderat	moderat-alt	alt	molt alt
Anual	<15	15-19	20-24	25-29	30-34	≥35
Estacional	<20	20-29	30-39	40-49	50-59	≥60

Taula 4. Canvis en el CV de la precipitació a les conques d'estudi a la segona meitat del segle XX. (Els subperíodes temporals per a l'estació hivernal són 1951/52-1975/76 i 1976/77-1999/00, 25 i 24 anys respectivament).

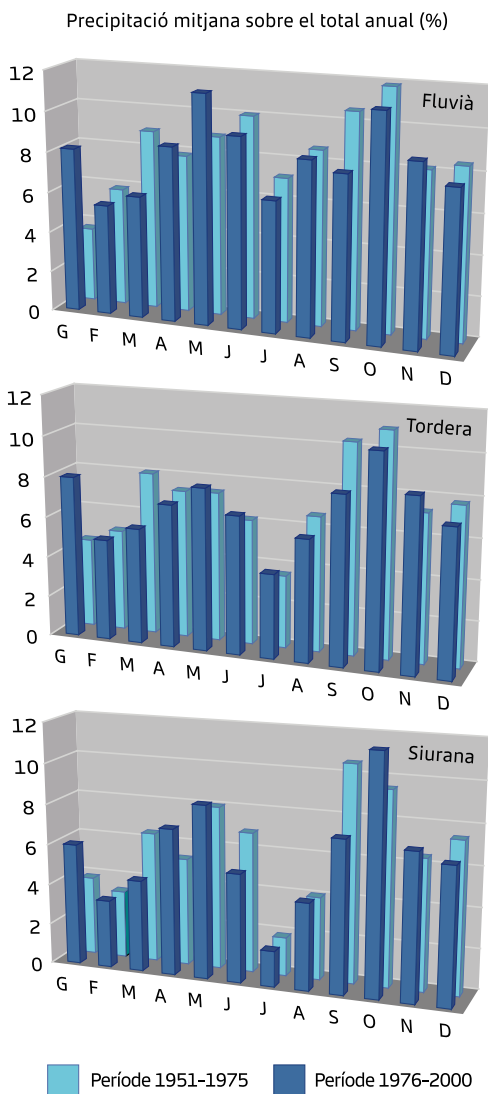


Figura 13. Calendaris pluviomètrics dels subperíodes 1951-1975 i 1976-2000 de les conques d'estudi a partir de les sèries de precipitació de la Figura 3. Es calcula el pes del total pluviomètric de cada mes sobre el total anual en %.

Episodis torrencials extrems

Es considera un episodi extrem de torrencialitat aquells superiors als 200 mm en 24 h (Gázquez *et al.*, 2004). En aquest darrer treball es feu un inventari dels episodis ocorreguts a Catalunya durant el període 1951-2000 i en catalogaren 26. Per tant, el període de retorn d'aquests episodis a Catalunya és de 2 anys aproximadament. Mentre al País Valencià, amb característiques pluviomètriques més mediterrànies, la seva recurrència és d'un per any (López-Bustins, 2004).

A les conques d'estudi al llarg del període 1951-2000 tingueren lloc 7 dels 26 episodis catalogats. Les conques més afectades per aquests fenòmens adversos són el Fluvià i la Tordera. Mentre la conca del Siurana només fou afectada per un, tot i que va ser el més extremat dels 7 (Taula 5). Els episodis més antics es registraren a la conca de la Tordera, als corredors prelitorals. Les precipitacions torrencials de l'octubre de 1962 i l'abril de 1969 coincidiren amb grans avingudes de la Tordera. En el primer cas el riu es desbordà al seu pas per Tordera, i en el segon el riu assolí un cabal instantani de 500 m³/s a Can Serra (municipi de Tordera) (ACA, 2002). Les precipitacions extremadament torrencials mesurades a la conca del Fluvià són força recents, i totes elles tingueren lloc a la part mitja-alta de la conca, a la Garrotxa.

Aquests episodis tenen una clara concentració temporal a la tardor, concretament a l'octubre. El calendari de la WeMO assenyala la primera quinzena d'octubre com la més probable en l'ocurrència d'aquests episodis perquè és el moment de l'any en

Episodis	Fluvià	Tordera	Siurana
21-09-1959	-	Gualba de Dalt (230.0 mm)	-
11-10-1962	-	Sils (223.0 mm)	-
04-04-1969	-	Sant Celoni (219.2 mm)	-
16-02-1982	Olot (201.0 mm)	-	-
12-11-1988	Castellfollit de la Roca (247.3 mm)	-	-
10-10-1994	Beuda (245.0 mm)	-	Cornudella de Montsant (397.0 mm)
12-11-1999	Castellfollit de la Roca (233.5 mm)	-	-

Taula 5. Llistat dels 7 episodis de precipitació superior als 200 mm en 24 h a les conques d'estudi durant el període 1951-2000. S'indica el registre màxim de precipitació i la seva localització dins la conca.

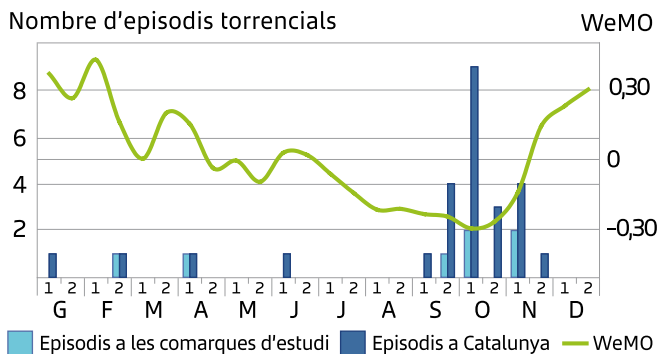
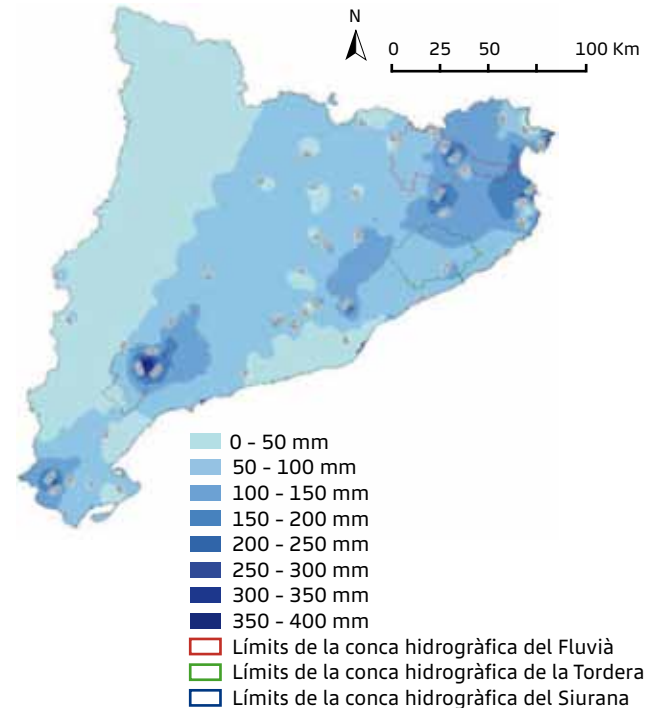


Figura 14. Calendari de la WeMO per quinzenes a partir dels valors diaris de l'índex (eix d'ordenades secundari). Distribució temporal per quinzenes dels 24 episodis extrems de torrencialitat (>200 mm en 24 h) ocorreguts a Catalunya i els 7 que afectaren a les conques d'estudi (eix d'ordenades principal).

què la WeMO es troba en la seva fase més negativa (Figura 14). Aquest calendari d'aquest índex de teleconnexió justifica perquè la primera quinzena d'octubre acumula amb diferència el major nombre de casos amb precipitació extremadament torrencial a Catalunya i a les conques d'estudi. Per tant, s'haurà de tenir en compte la vulnerabilitat de les conques al mes d'octubre davant la probabilitat més elevada en l'ocurrència d'aquests fenòmens meteorològics adversos.

L'episodi del 10 d'octubre de 1994 fou el que afectà més directament a les conques del projecte ACCUA. La conca del Siurana registrà gairebé 400 mm en 24 h al voltant de la zona del pantà de Siurana. Aquest episodi concentrà les seves precipitacions als relleus prelitorals de Catalunya, on es troben les 3 conques. Les precipitacions al tram mig del Fluvià també superaren amb escreix els 200 mm. A la conca de la Tordera no se superaren els 200 mm però un àrea important de la seva part septentrional sobrepassaren els 100 mm (Figura 15, esquerra). Aquest episodi és representatiu de la primera quinzena d'octubre



500 hPa Geopotential (gpdm) und Bodendruck (hPa)

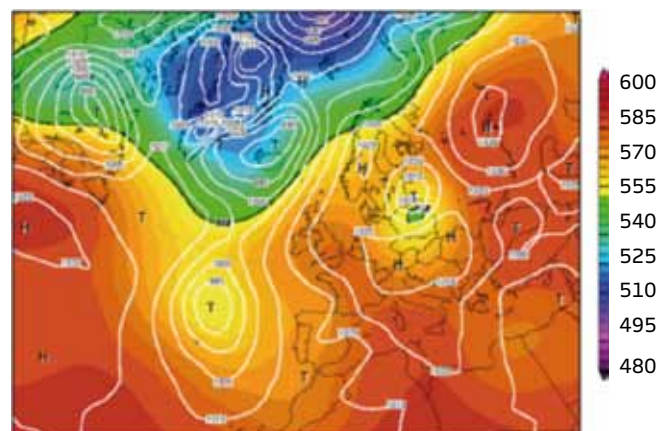


Figura 15. (Esquerra) Distribució espacial de la precipitació acumulada el 10 d'octubre de 1994 a Catalunya. (Dreta) Mapa sinòptic de superfície i d'altura geopotencial a 500 hPa del 10 d'octubre de 1994.

i de la fase negativa de la WeMO. Aquesta fase es caracteritza per vents humits i càlids del SE, injectats per la localització d'altres pressions a Europa Central i baixes pressions al Golf de Cadis (Figura 15, dreta).

Conclusions

- La situació geogràfica de les conques dona lloc a un ventall ampli de matisos del clima mediterrani, des de capçaleres humides amb estius moderadament calorosos i hiverns freds, a desembocadures amb precipitacions minses, estius extremats i hiverns suaus.
- La Tmit anual de les conques és al voltant dels 13°C. La més freda és el Fluvià (12.8°C) i la més càlida és la Tordera (13.6°C). La distribució espacial de la temperatura segueix amb molta fidelitat l'orografia. Els relleus elevats i endinsats en el continent de la part alta del Fluvià impliquen que tinguin la major amplitud tèrmica anual de les tres conques.
- La distribució espacial de la precipitació segueix una gradient latitudinal essent de més a menys humit: la conca del Fluvià, la conca de la Tordera i la conca del Siurana. Les dues primeres s'inclouen dins la Catalunya humida. Els màxims pluviomètrics són equinoccials excepte al Fluvià on trobem una capçalera molt humida a l'estiu. La precipitació més irregular té lloc a les desembocadures del Fluvià i el Siurana.
- La precipitació de les conques d'estudi es troba sota la influència de la NAO a la primavera i sota la de la WeMO a la tardor. A l'hivern es troba a cavall d'ambdós índexs de teleconnexió. A l'estiu i anualment, no es percep la influència d'aquests índexs.
- La temperatura s'ha incrementat significativament en 1,25°C en el període 1951-2000 a les conques d'estudi. Les Tmàxs s'han incrementat més que les Tmíns, 1,5 °C i 0,5°C respectivament. Els augments més significatius han tingut lloc a l'estiu als mesos de juliol i agost, seguit de l'hivern.
- La precipitació no ha experimentat canvis significatius a les conques en el període 1951-2000. Només s'ha detectat un descens significatiu al juliol i a finals d'hivern, i un cert augment en el mes central de l'hivern. Aquests canvis d'estacionalitat es corroboren en els canvis detectats en els calendaris pluviomètrics de 1951-1975 i 1976-2000. El CV no ha

mostrat canvis entre ambdós subperíodes a les conques, només un cert augment a l'hivern i a l'estiu possiblement lligat als canvis de precipitació detectats en aquestes estacions.

- La conca del Fluvià i la Tordera són les més afectades pels episodis torrencials extrems que tenen lloc a la tardor, concretament a la primera quinzena d'octubre, quan la WeMO es troba en la seva fase més negativa de l'any. Caldrà tenir en compte l'elevat risc climàtic d'aquests fenòmens adversos en aquestes conques en aquesta època de l'any.

Agraïments

A les base de dades NESATv2 i NESAP del Grup de Recerca del Canvi Climàtic de la Universitat Rovira i Virgili, MOPREDAMES del Dr. De Luis y Dr. González-Hidalgo de la Universitat de Saragossa, i a les sèries puntuals de precipitació cedides per Météo-France, AEMET i el Dr. Savé. A en Jordi Vayreda pels càlculs de la classificació climàtica de Köppen-Geiger.

Referències

- ACA (Agència Catalana de l'Aigua). 2002. *Planificació de l'espai fluvial de la conca de la Tordera. Estudis previs*. ACA, Barcelona, 28 p.
- Aguilar M, Sánchez-Rodríguez E, Pita MF. 2006. Tendència de las precipitaciones de marzo en el sur de la Península Ibérica. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* 5: 41-51, Zaragoza.
- Azorin-Molina C, Lopez-Bustins JA. 2008. An automated sea breeze selection technique based on regional sea-level pressure difference: WeMOi. *International Journal of Climatology* 28: 1681-1692
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladié, O., Sigró, J., López, D. (2001) The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteenth Century Onwards. In: *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer. Berlin, DE, 81-93.
- Cernocky T, Sánchez-Lorenzo A, Téllez Jurado B, Martín-Vide J. 2008. Modelización cartográfica mediante SIG del coeficiente de variación de la pluviometría anual y mensual en Cataluña. En

- ESTRELA, M.J. (Ed.): *Riesgos climáticos y cambio global en el mediterráneo español ¿hacia un clima de extremos?*. CEAM, Colección Inter-ciencias UNED Alzira-Valencia, 215-233 pp.
- De Luis M, González-Hidalgo JC, Longares LA, Stepanek P. 2009. Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century. *International Journal of Climatology* 29: 1312-1323.
- Düneloh A, Jacobeit J. 2003. Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948-98. *International Journal of Climatology* 23: 1843-1866.
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MJ, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK. 1997. Maximum and minimum temperatures for the globe. *Science* 277: 364-367. González-Hidalgo, J.C., Lopez-Bustins, J.A., Stepanek, P., Martín-Vide, J., De Luis, M. Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, in press.
- Gázquez A, Perpinyà M, Llasat MC, Peña JC. 2004. Episodios pluviométricos superiores a los 200 mm en 24 horas en Catalunya. Catalogación y configuraciones meteorológicas asociadas". En García Codrón, J.C. et al. (Eds.): *El Clima, entre el Mar y la Montaña*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, serie A, nº 4, pp. 303-312.
- Guijarro JA. 2002. Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español. *III Congreso de la Asociación Española de Climatología* 3: 237-246, Palma.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)]. IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Bruno R, Rubel F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15: 259-263.
- LÓPEZ-BUSTINS, J.A. 2004. *Anàlisi de la precipitació diària al quadrant nord-occidental de la Mediterrània: classificació de situacions sinòptiques, aplicació d'índexs de variabilitat i anàlisi de factors externs*. Tesina del Programa de Doctorat "Geografia, Paisatge i Medi Ambient", Universitat de Barcelona. 215 p., inèdit.
- López-Bustins JA. 2007. *L'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental i la Precipitació als Països Catalans*. Tesi doctoral, inèdita, 400 p.
- Lopez-Bustins JA, Martín-Vide J, Sanchez-Lorenzo, A. 2008. Iberia winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns. *Global and Planetary Change*, Volume 63, Issues 2-3, Pages 171-176.
- Martín-Vide J. 1996. Decálogo de la pluviometría española. En MARZOL, M^a V.; DORTA, P. y VALLADARES, P.(Eds.): *Clima y agua. La gestión de un recurso climático*, 15-24, Universidad de La Laguna, A.G.E.
- Martín-Vide J, Fernández Belmonte D. 2001. El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones Geográficas* 26: 41-58.
- Martín-Vide J, Olcina Cantos J. 2001. *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, Madrid, 258 p.
- Martin-Vide J, Lopez-Bustins JA. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26 (11): 1455-1475.
- Maugeri M, Brunetti M, Monti F, Nanni T. 2004. Sea-Level pressure variability in the Po plain (1765-2000) from homogenized daily secular records. *International Journal of Climatology* 24: 437-455.
- Millán, M. M. (2008) Perturbaciones climáticas al ciclo hídrico en la Cuenca Mediterránea Occidental: origen y propagación a escalas regional-europea y global. *Tractat de l'Aigua* 1: 24-33.
- Millán M, Estrela MJ, Miró JJ. 2005. Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *Journal of Climate* 18: 2682-2705.

Ninyerola, M.; Pons, X. i Roure, JM. 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*. 20: 1823-1841.

Norrant C, Douguédroit A. 2006. Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950-2000). *Theoretical and Applied Climatology* 83: 89-106.

Paredes D, Trigo RM, Garcia-Herrera R, Trigo IF. 2006. Understanding precipitation changes in Iberia in early spring: weather typing and storm-tracking approaches. *Journal of Hydrometeorology* 7: 101-113.

Rodríguez-Puebla C, Encinas AH, Sáenz J. 2001. Winter precipitation over the Iberian Peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences* 5 (2): 233-244.

Saladié O, Brunet M, Aguilar E, Sigró J, López D. 2006. Análisis de la tendencia de la precipitación de primavera en la cuenca del Pirineo Oriental durante el periodo 1896-2003. *V Congreso de la Asociación Española de Climatología* 5: 475-485, Zaragoza.

Saladié, O., Brunet, M., Aguilar, E., Sigró, J., López, D. (2007) Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del Sector Nororiental de la Península Ibérica (1850-2000). Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain.

Stefanicki G, Talkner P, Weber RO. 1998. Frequency Changes of Weather Types in the Alpine Region since 1945. *Theoretical and Applied Climatology* 60: 47-61.

Stepanek, P. (2007) AnClim – software for time series analysis (for Windows). Dept. of Geography, Fac. of Natural Sciences, Masaryk University, Brno. 1.47 MB.

Thompson WJ, Wallace JM. 2000. Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. *Journal of Climate* 13: 1000-1016.

7.2. Comunicació per la 2011 International SWAT Conference: "Climate change impacts on water availability in three Mediterranean basins of Catalonia (NE Spain)

Eduard Pla (ACCUA), Diana Pascual (ACCUA),
Jaume Terradas, Javier Retana

CREAF (Centre for Ecological Research and Forestry Applications) – Autonomous University of Barcelona – 08193 Bellaterra, Spain.
accua@creaf.uab.cat

ABSTRACT

The Mediterranean region might become one of the most vulnerable areas in Europe regarding climate change. There is a social concern related to climate change impacts on water resources. In this context, the IPCC Fourth Assessment Report (2007) points out a significant decrease in runoff in Mediterranean regions at the end of the Century.

This work assesses the main climate change impacts in three medium-sized catchments in Catalonia (NE Spain) with different environmental conditions: Fluvià, Tordera and Siurana. The main aim is to develop adaptive measures to cope with the expected climatic and social changes.

The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used to simulate the hydrologic response to climate changes. Downscaled projections of ECHAM5 GCM under two IPCC emission scenarios (A2, B1) were used. In comparison with baseline conditions (1984–2008), climate projections predicted a 12% (B1) to 28% (A2) reduction in precipitation, and a 2.2°C (B1) to 3.6°C (A2) increment of mean annual temperature at the end of the XXI Century (2076–2100).

SWAT simulations predicted a 22% to 48%–reduction of stream flow and a 14% to 25%–reduction of real evapotranspiration for 2076–2100 respectively under the above mentioned scenarios. Autumn and summer were the most affected seasons. These results highlight the strong impact of climate change in regional water resources and reflect the

importance of incorporating these analysis into adaptive management in the Mediterranean region.

This work is part of the ACCUA project (www.creaf.uab.cat/accua) that aims at evaluating the territorial vulnerability of the Mediterranean coast to the main effects of global change in relation to water availability.

Keywords: climate change, water availability, SWAT, Mediterranean

INTRODUCTION

The latest climatic models predict that during this century the climate of the Mediterranean region will become warmer and drier (Christensen *et al.* 2007). As a biogeographical transition zone, the Mediterranean area is one of the most sensitive biomes to present and future climatological changes (Lavorel *et al.* 1998).

Observational studies revealed a global trend toward warmer conditions during the last decades (Solomon *et al.* 2007). Regional studies based on recorded meteorological data in Catalonia (NE Spain) have already confirmed a mean temperature upward trend over the last decades (1950–2008) eventhough annual precipitation did not vary significantly in this region (Llebot 2010).

Besides temperature increases, global circulation models predict an annual precipitation decrease in Mediterranean basin as well as changes in its seasonal distribution at the end of the XXI Century (Christensen *et al.* 2007). As a consequence, lower water availability is also expected for local watershed systems of this region. The combination of these trends, decreasing precipitation coupled with increasing temperature, and thus increasing evapotranspiration, results in even stronger decreases in water availability than would be expected from considering precipitation changes only.

The hydrologic response of Mediterranean catchments to global change is currently the subject of a high scientific concern, as happens with the ACCUA project (www.creaf.uab.cat/accua), which assesses territorial vulnerability of three medium-sized catchments in Catalonia (NE Spain) with regard to global change main effects on water availability.

The Soil and Water Assessment Tool (SWAT, Neitsch *et al.* 2002) was used to simulate hydrologic responses to climate change. This is a physically based, semi-distributed hydrological model that operates on a daily time step. SWAT has been widely used throughout the world for many water resources applications but scarcely in studies focused on climate change impacts in Mediterranean watersheds of the Iberian Peninsula (Nunes *et al.* 2008).

The results obtained will provide a vulnerability assessment on water availability to climate change, with the aim to project trends that will help in the design of adaptation strategies.

STUDY AREA

The study area was chosen to represent Mediterranean heterogeneity at a local level, selecting three pilot catchments representative of littoral conditions: Fluvià, Tordera and Siurana (Fig.1). These three catchments represent a climatic gradient across the Catalan coast, besides diversity on land use, pressures and environmental conditions. All three are non regulated watersheds, except for three small reservoirs on Siurana. Fluvià is a forested basin with important presence of agriculture and a strong touristic pressure in its lowest part. Tordera is closer to Barcelona and has strong urban development and industrial pressure. Siurana is the drier area, where agriculture and natural systems are in a very fragile situation. All three catchments have presented similar trends in land use changes during the last decades, where the forest area has slightly increased, agriculture land has dropped and urban surface has growth (Fig 2).

The analysis of the historic climate has shown a temperature increase during the last decades,

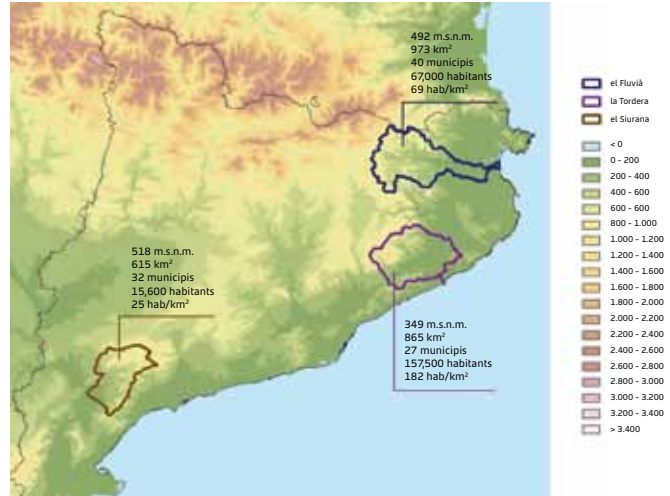


Figure 1. Watershed location across the Catalan coast (NE Spain).

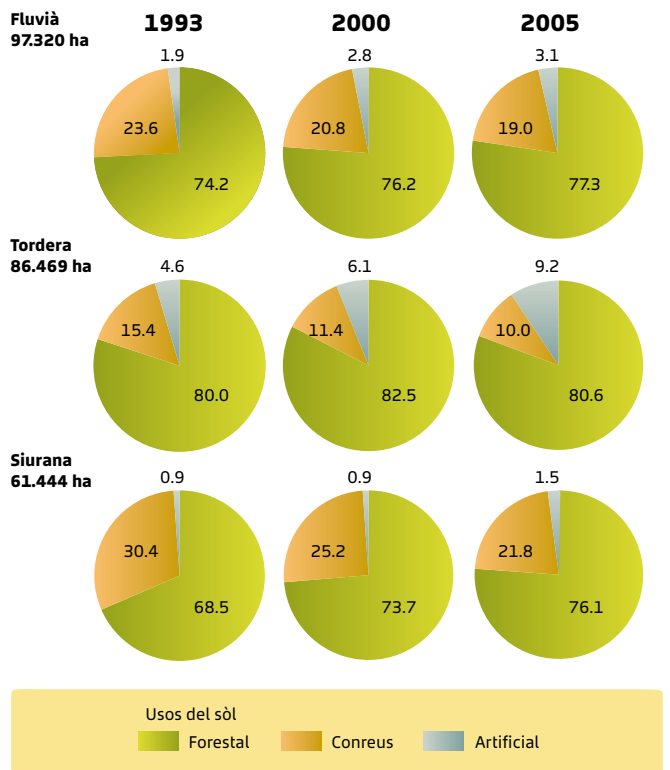


Figure 2. Main land use surfaces in each watershed in 1993, 2000 and 2005 (Data source: Land Cover Map of Catalonia 1993, 2000 and 2005).

which is consistent with global registered trends along the Mediterranean area (1.25°C throughout the period 1951-2000). The main rise was observed on maximum temperature. A non significant decrease on annual precipitation was observed, but reductions were significant on some specific months (July and March), while there was a significant increase in January.

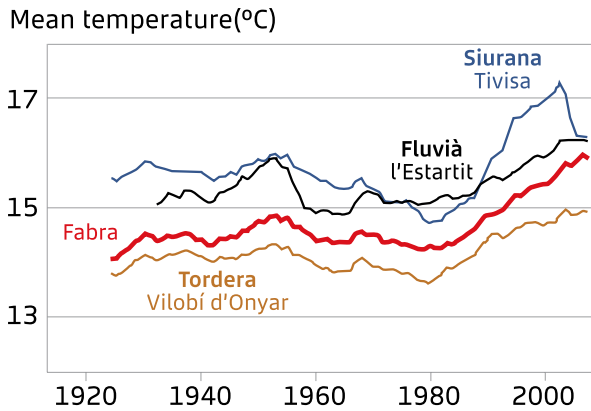


Figure 3. Mean temperature trends from 1914 to present based on measured data from AEMET climatic stations. The Fabra station is not within the study areas but it is frequently used as reference series. The other climatic stations are located within the studied catchments.

DATA AND METHODS

SWAT calibration and validation

The Soil and Water Assessment Tool (SWAT) was used to simulate the hydrologic response to climate changes. In a first phase, the model was calibrated and validated with measured climatic and flow discharge data. In a second phase, the calibrated model was used to evaluate climate change impact on water resources. In this phase, the climatic projections from SMC (a regional climate centre called Meteorological Service of Catalonia) were used for the period 2000 to 2100.

SWAT input data used on the calibration includes the digital elevation model from Catalonia (30 m spatial resolution) developed by the Catalanian Cartographic Institute (ICC); the soil map created

from geological maps and adapted to research aims; land use data from the Land Cover Map of Catalunya (2000 version, at 2 m of spatial resolution) developed by the Centre for Ecological Research and Forestry Applications (CREAF); and climatic series from meteorological stations located on the watersheds (AEMET, Spanish Meteorological Agency, and SMC). Climatic series included precipitation, temperature, radiation, relative humidity and wind speed in seven/eight points per study area. These series were filled and corrected by the effects of orography on precipitation and temperature with SWAT equations.

Model calibration was based on measured stream flow values along the watersheds. In these specific watersheds, flow series were often scarce, incomplete and with bad quality. Initially, a 25 years period (1984-2008) was chosen to calibrate and validate the model, the longest time slice in which both climatic and flow data were available. Within this time slice, calibration was made with shorter periods, usually two or three years, depending on the quality data of the gauging station. Calibration was carried out at a daily time step to target three main objectives: (1) simulated curves similar to measured ones, (2) mean flow values and total contributions similar between simulated and measured data, and (3) good statistics of Nash and Sutcliffe efficiency coefficient (NSE) and RMSE-observations standard deviation ratio (RSR). Moriasi et al. (2007) proposed threshold values for these statistics to evaluate the goodness of fit of the model at a monthly time step (Table 1).

Performance rating	RSR	NSE
Very good	$0.00 \leq RSR \leq 0.50$	$1.00 \leq NSE < 0.75$
Good	$0.50 < RSR \leq 0.60$	$0.75 \leq NSE < 0.65$
Satisfactory	$0.60 < RSR \leq 0.70$	$0.65 \leq NSE < 0.5$
Unsatisfactory	$RSR > 0.70$	$NSE \leq 0.5$

Table 1. General performance ratings for statistic for a monthly time step (from Moriasi et al. 2007).

Sensitivity analysis and preliminary model trials were developed to identify the most influential parameters, which were adjusted during the calibration. Parameters related to base flow generation (ALPHA_BF, GWQMN, GW_REVP, REVAPMN, RCHRG_DP), to surface runoff (CN2,

SOL_K, SOL_AWC, ESCO, CH_N), and to basin response (SURLAG, CH_K) were changed until project goals were reached.

Calibration was performed both manually and through SWAT-CUP (SWAT Calibration Uncertainty

Procedures, Abbaspour *et. al* 2008). Model parameters were adjusted independently among sub-watersheds, depending on available stream flow data. Within calibration, water extraction for urban, industrial and agricultural uses were introduced as consumptive water and removed from the basin. In the Fluvià basin, it was considered the subterranean water transfer from the High Garrotxa headwater to different points of the basin (Serinyà river) and outside the basin (Banyoles lake on Ter basin). Previous studies have quantified in 12 hm³ per year water transfer outside Fluvià basin (EPTISA, 1988). In the Siurana basin, simulations included three small reservoirs situated on the headwater area. Two of them, the Siurana and Guiamets reservoirs, had registered daily outflow from 1984 to 2008. The other one, the Margalef reservoir, is managed by agricultural purposes and no registered data were available. This reservoir was simulated as an uncontrolled one.

Figure 4 and Table 2 shows calibration outputs in one gauging station per basin, usually the closest to the river mouth (Garrigàs station in Fluvià, Can Serra station in Tordera and Cornudella de Montsant station in Siurana; this last gauging station is situated on the headwater and under the Siurana reservoir influence). The graphical comparison between simulated and measured data shows a good adjust, although in all three basins simulations overestimate maxim flood peaks. In Fluvià and Tordera, simulations overestimate mean and total stream flow values (27 and 19 % respectively). NSE and RSR statistics show a satisfactory adjust, although analysis was carried out at a daily time step.

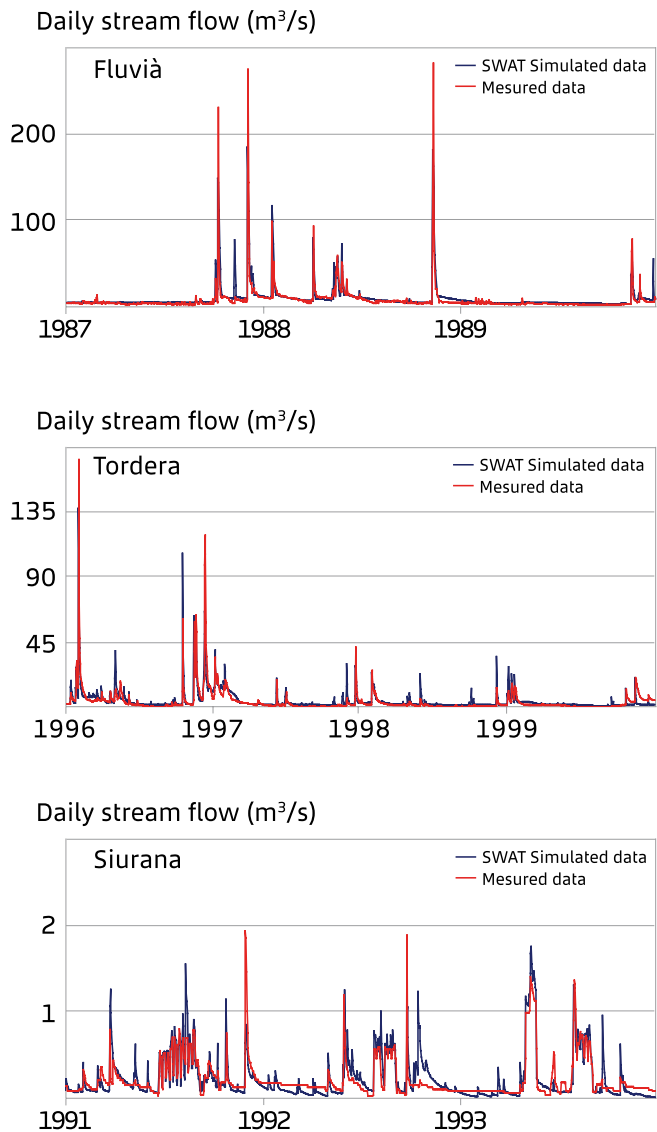


Figure 4. Calibration results: measured and simulated daily discharge in three points, one per basin: Garrigàs at Fluvià basin, Can Serra at Tordera and Cornudella de Montsant at Siurana

	Statistics			
	Simulated mean daily discharge (m ³ /s)	Observed mean daily discharge (m ³ /s)	NSE	RSR
Fluvià (Garrigàs)	9.1	7.1	0.5	0.7
Tordera (Can Serra)	4.3	3.6	0.5	0.7
Siurana (Cornudella)	0.2	0.2	0.6	0.7

Table 2. Calibration results: mean daily discharge values from both simulated and measured data and adjust statistics in each basin.

The validation measures model prediction capacity through the comparison between simulated results and measured data in a different time period. Validation was also made with short time slices, depending on observed data quality. Table 3 shows

the validation results per basin. As in calibration results, simulations overestimated mean discharge values, although in a lower percentage (20 % in Fluvià and 8% in Tordera). Statistics showed a satisfactory adjust except in the Tordera basin.

	Simulated mean daily discharge (m ³ /s)	Observed mean daily discharge (m ³ /s)	Statistics	
			NSE	RSR
Fluvià (Garrigàs)	8.5	7.1	0.5	0.7
Tordera (Can Serra)	5.1	4.8	0.4	0.7
Siurana (Cornudella)	0.4	0.3	0.7	0.6

Table 3. Validation results: mean daily discharge values from both simulated and measured data and adjust statistics in each basin.

Figure 5 and table 4 shows calibration results for the whole period (1984–2008) at a monthly time step. Graphics, mean values and statistics showed a good performance ratio and a general overestimation between 10 and 15%.

Monthly stream flow (m³/s)

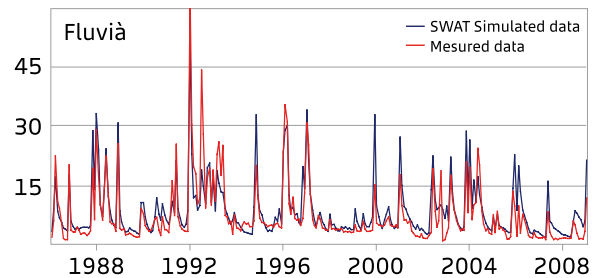


Figure 5. Measured and simulated monthly discharge in Garrigàs, at the Fluvià basin.

	Simulated mean daily discharge (m ³ /s)	Observed mean daily discharge (m ³ /s)	Statistics	
			NSE	RSR
Fluvià (Garrigàs)	8.5	7.3	0.7	0.5
Tordera (Can Serra)	3.9	3.5	0.8	0.4
Siurana (Cornudella)	0.3	0.2	0.7	0.6

Table 4. Mean monthly discharge values from both simulated and measured data and adjust statistics.

Climate projections

Future climate data were provided by the SMC (Catalan Meteorological Service), which have generated downscaled projections of ECHAM5 GCM under two IPCC emission scenarios (A2, B1). Future projections have a high temporal and spatial resolution (6 h and 15 km) for the period 2001-2100 and for the reference period 1971-2000 (Calbó et al. 2010).

Climate projections estimate a precipitation reduction between 12% (scenario B1) to 28.3% (A2) and a mean annual temperature increment between 2.2 °C (B1) to 3.6 °C (A2) by the end of the XXI Century (2076–2100). Figure 6 shows annual precipitation and mean annual temperature trends across the century for the Fluvià basin.

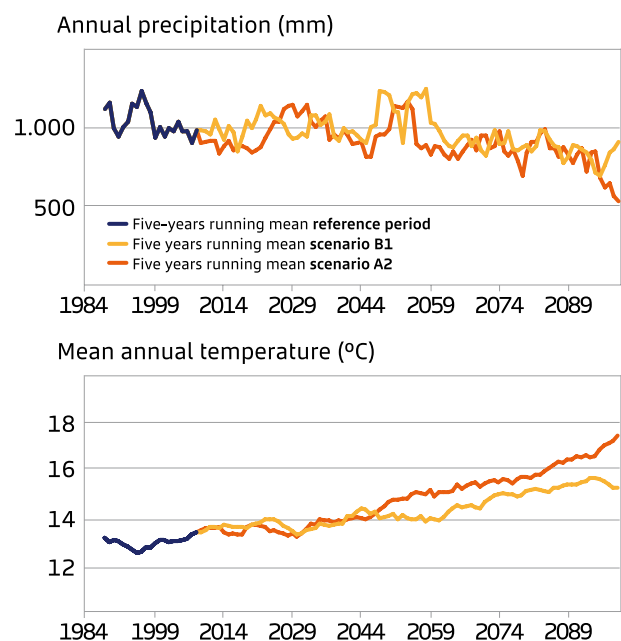


Figure 6. Annual precipitation and mean annual temperature five-years running mean variations from 1984 to 2100 for the Fluvià basin.

Mean annual precipitation						
		Reference period (1984-2008)	Short term (2006-2030)	% reduction	Long term (2076-2100)	% reduction
B1	Fluvià	1013.3	983.1	-3.0%	863	-14.8%
	Tordera	778.1	759.7	-2.4%	683	-12.2%
	Siurana	532.9	517.9	-2.8%	451.2	-15.3%
A2	Fluvià	1076.3	972.8	-9.6%	771.3	-28.3%
	Tordera	828.1	750.9	-9.3%	626.4	-24.4%
	Siurana	553.5	511.2	-7.6%	420.7	-24.0%

Mean annual temperature						
		Reference period (1984-2008)	Short term (2006-2030)	°C increment	Long term (2006-2030)	°C increment
B1	Fluvià	13.1	13.7	0.6	15.3	2.3
	Tordera	14.2	14.7	0.5	16.4	2.2
	Siurana	14.8	15.4	0.6	17.0	2.2
A2	Fluvià	13.0	13.4	0.5	16.5	3.5
	Tordera	14.1	14.3	0.3	17.5	3.4
	Siurana	14.7	15.1	0.5	18.2	3.6

Table 5. Mean precipitation and temperature values per time slices per scenario. Precipitation reduction percentage and temperature degrees incremented are also shown.

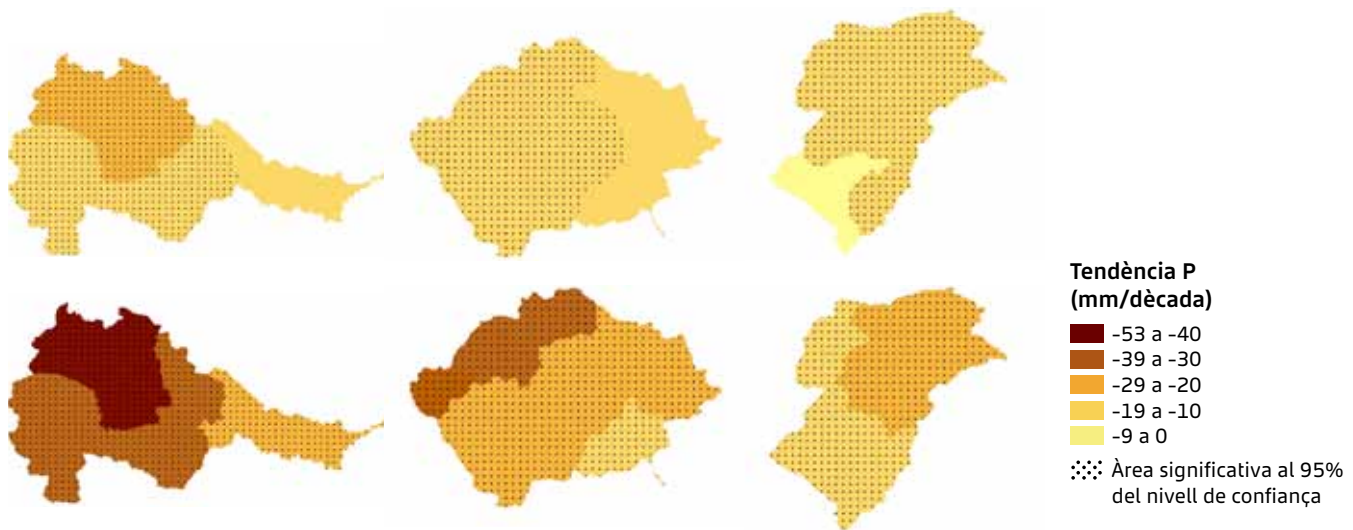


Figure 7. Expected precipitation reduction (mm per decade) per subbasin across the XXI century. Pointed area shows significant reductions at a 95% confidence level.

Figure 7 analyses the trends in precipitation spatial distribution through the XXI Century. Major precipitation reductions are expected on Fluvià and Tordera headwaters (between 30 to 53 mm per decade). The lowest reductions are expected on the Siurana mouth.

RESULTS

SWAT simulations with climate projections showed a generalized stream flow and real

evapotranspiration reduction. Results were analyzed in two time slices: short term (2006-2030) and long term (2076-2100). Mean values for these periods were compared with the results for the reference period (1984-2008). Results were evaluated in two points per basin: in the basin headwaters and in the river mouth. Land use covers were maintained as constant along the simulations. Water extraction was not considered due to the lack of future water demand estimations. Reservoirs were simulated as uncontrolled ones and mean daily outflow was fixed to the ecological outflow.

Table 6 shows the percentage of stream flow reduction per climate scenario (B1, A2) at the headwater and river mouth of each basin. The highest reductions were observed in the A2 scenario (33 to 39% of reduction). The highest climate

change effect was observed in the Fluvià headwater, with 48% of stream flow reduction. In the Siurana basin, the scenario B1 predicts a slight stream flow increment at the short term due to an expected precipitation increment from 2025 to 2050.

		Short term (2006-2030)		Long term (2076-2100)	
		Headwater	River mouth	Headwater	River mouth
B1	Fluvià	-14%	-9%	-31%	-22%
	Tordera	-9%	-9%	-22%	-25%
	Siurana	+4%	+5%	-22%	-22%
A2	Fluvià	-20%	-14%	-48%	-39%
	Tordera	-13%	-18%	-33%	-37%
	Siurana	-16%	-16%	-32%	-33%

Table 6. Predicted stream flow reduction per climate scenario, period and headwater/river mouth compared to the reference period (1984-2008).

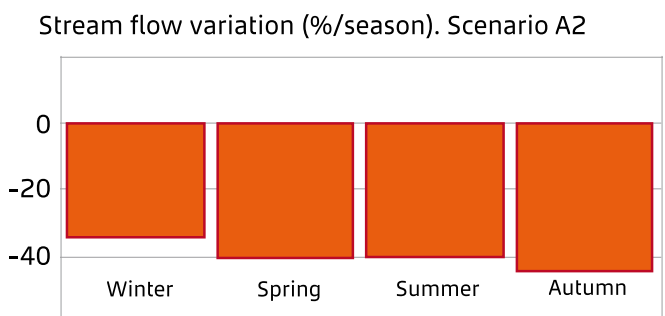
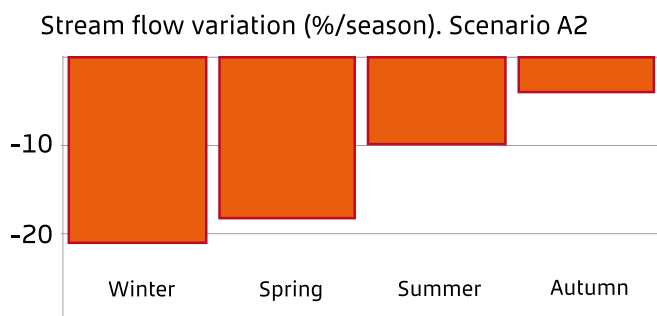
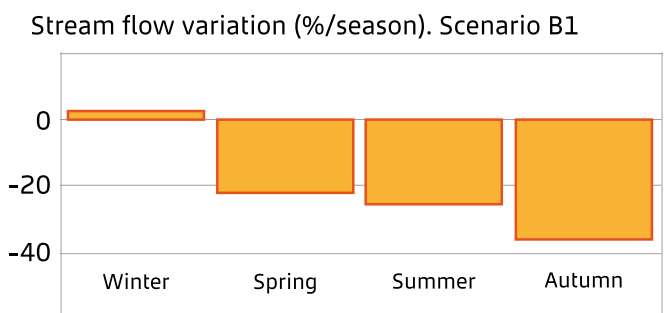
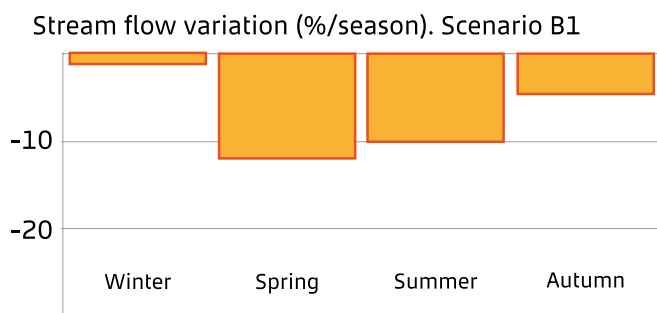


Figure 8. Expected runoff variation (%) per scenario. Results from the Fluvià river mouth estimated as change percentatge from short term mean runoff (2006-2030) to the reference period mean runoff (1984-2008).

Figure 9. Expected runoff variation (%) per scenario. Results from the Fluvià river mouth estimated as change percentatge from long term mean runoff (2076-2100) to the reference period mean runoff (1984-2008).

Figure 8 shows the distribution of stream flow reduction among seasons at the short term for the Fluvià river mouth, although results for the other basins are similar.

In the scenario B1, large reductions were predicted in spring and summer, whereas in the scenario A2 the most affected seasons were winter and spring.

At the long term, autumn and summer will be the most affected seasons concerning runoff reduction in the two scenarios (Figure 9), while slight increments will be expected in winter.

Potential and real evapotranspiration (PET and ETr)

		Potential evapotranspiration		Real evapotranspiration	
		Short term (2006-2030)	Long term (2076-2100)	Short term (2006-2030)	Long term (2076-2100)
B1	Fluvià	+3%	+11%	-1%	-14%
	Tordera	+3%	+11%	-3%	-14%
	Siurana	+3%	+12%	-7%	-17%
A2	Fluvià	+3%	+20%	-4%	-22%
	Tordera	+2%	+16%	-6%	-25%
	Siurana	+3%	+17%	-3%	-24%

Table 7. Predicted potential and real evapotranspiration variation (%) per scenario, period and basin compared to reference period (1984-2008).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This work shows that SWAT is an appropriate tool to assess climate change impacts on Mediterranean watersheds and to become a helpful tool for water management and planning.

Results were focused on two main hydrological variables that are relevant indicators of water dynamics: stream flow and evapotranspiration. SWAT simulations predicted a 24% to 48%-reduction of stream flow, approximately a 10% more severe in the A2 scenario than in the B1 at the end of the XXI Century. Along a latitudinal gradient, most drastic reductions at the end of the century were found in the wet headwaters of the northern watersheds (Fluvià and Tordera) while reductions were less severe in the southern one (Siurana). Autumn and summer were the most affected seasons. A 15% to 27%-reduction of real evapotranspiration was predicted for 2076-2100 due to less water availability and soil drought.

A strong alteration on water dynamics is expected during the XXI Century. A significant stream flow decrease will affect aquifer the recharge and stream-aquifer relationship. These trends have different environmental and socioeconomic consequences.

In an ecological sense, expected stream flow reduction would imply longer periods in which

were estimated by Penman-Monteith equation incorporated in SWAT. Results showed a PET-increment by the end of the XXI Century due to the expected temperature increment. A 14% to 25% real evapotranspiration reduction was predicted because of the expected precipitation reduction (Table 7).

stream flow will be smaller than the ecological one, affecting stream environment quality conservation. Riparian ecosystems would be deeply affected in some parts of the watersheds. At the same time, decreases in soil water availability and changes in intrannual variability could impact on woodland development and suitability of some forest species.

Water availability decrease and seasonality changes could affect seriously water supply for agricultural and urban uses. During the last decade, different water use restrictions have been applied several times in Catalonia due to lack of water availability. The interaction of these processes with land use changes is another focus in the ACCUA project, but they are out of the scope of this paper.

Surprisingly, this analysis reveals a greater vulnerability of wet watersheds in northern Catalonia, which would be deeply affected by climate change despite its bigger buffer capacity. Globally, the ecosystems present in the wet watersheds are more sensitive to changes in environmental conditions. Contrariwise, ecosystems actually located in southern watersheds would be better used to drier conditions. Further studies should be carried out to corroborate these results.

This work confirms SWAT as a useful tool to develop spatial analysis of climate change impacts on Mediterranean watersheds and to draw trends, considering all methodological limitations, about

the main territorial vulnerabilities on water availability. Results highlight the strong impact of climate change on regional water resources and reflect the importance of incorporating these analyses into adaptive management in the Mediterranean region.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is part of ACCUA project (www.creaf.uab.cat/accua) coordinated by CREAM with different research partners (UPC, IRTA, ETC-SIA and UB). Valuable contributions were made by the Catalan Water Agency (ACA). Regional climatic projections were provided by the Catalan Meteorological Service (SMC). ACCUA has been founded by CatalunyaCaixa.

REFERENCES

- Abbaspour, K. C., J. Yang, M. Vejdani, and S. Haghghat (2008), SWATCUP: Calibration and uncertainty programs for SWAT, 4th Int. SWAT Conf. Proc., in press.
- Calbó, J.; Sanchez-Lorenzo, A.; Cunillera, J. and Barreda-Escoda, A. (2010): Proyecciones i escenaris de futur. A: Llebot, J.E. (Ed.): Segon informe sobre el canvi climatic a Catalunya. Institut d'Estudis Catalans and Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya, 183-239. Barcelona. ISBN 978-84-9965-027-2
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr, P. Whetton (2007) A: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- EPTISA, 1988. Estudio hidrogeológico del lago de Bañolas. Estudios hidrogeológicos en la cuenca hidrográfica del Pirineo Oriental.
- Lavorel, S.; Canadell, J.; Rambal, S.; Terradas, J. (1998) Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography* 7: 157-166.
- Llebot, J.E. (Ed) (2010) Segon informe sobre el canvi climatic a Catalunya. Institut d'Estudis Catalans and Generalitat de Catalunya. Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya. Barcelona. ISBN 978-84-9965-027-2
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*. 50(3):885-900
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., King, K.W. (2002). Soil and water assessment tool. Theoretical documentation. Version 2000. Texas Water Resources Institute Report TR-191, Texas, USA, 458p.
- Nunes J.P., Seixas J., Pacheco N.R. (2008) Vulnerability of water resources, vegetation productivity and soil erosion to climate change in Mediterranean watersheds. *Hydrological Processes*. 22, 16, 3115-3134.
- Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). (2007) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

7.3. Masses d'aigua subterrània a l'àmbit estudiat

CODI	NOM	TIPOLOGIA	Superfície		CARACTERÍSTIQUES HIDRÀULIQUES DOMINANTS	Centroide	
			TOTAL (Km²)	AFLOR (Km²)		UTM_X	UTM_Y
2	Conca alta del Fluvià	Carbonatat	355	355	Lliure	461718	4680002
6	Empordà	Detrític no al·luvial, al·luvial i locals	614	357	Lliures i confinats amb predomini de confinats	493591	4670594
7	Paleògens del Baix Ter	Detrític no al·luvial i carbonatat	116	49	Lliure i confinat associats amb predomini del lliure	507416	4652238
8	Banyoles	Detrític no al·luvial, al·luvial i carbonatat	361	170	Lliures i confinats associats amb predomini del confinat	476080	4662529
9	Fluviovolcànic de la Garrotxa	Volcànic, fluviovolcànic i al·luvial	168	168	Lliures i confinats associats amb predomini del lliure	460297	4665986
10	Plana de Vic Collsacabra	Detrític, al·luvial i carbonatat	740	740	Lliure i confinat amb predomini del lliure	442134	4653889
13	Montseny-Guilleries	Detrític, al·luvial i granit i paleozoic	614	547	Lliure i confinat associat	459721	4632884
14	La Selva	Detrític, al·luvial i granit i paleozoic	291	291	Lliure i confinat associats	483415	4637607
18	Maresme	Al·luvial i granític i paleozoic	444	444	Lliure	460796	4606310
34	Al·luvials de l'alta i mitjana Tordera	Al·luvial	37	37	Lliure	462909	4619021
35	Al·luvials de la baixa Tordera i Delta	Al·luvial	26	26	Lliure i confinat amb predomini del lliure	478576	4615795
50	Priorat	Granit, paleozoic i carbonatat	301	301	Lliure	322115	4565744
51	Fossa de Mora	Detrític	344	344	Lliure	307396	4552300

7.4. Resultats recàrrega simulacions

FLUVIÀ	P hm3/any	recàrrega hm3/any	cabal hm3/any	etr hm3/any
Històric	946.7	255.6	151.6	481.7
B1 2000-2050 sense canvis	857.6	229.9	86.3	496.2
B1 2000-2050 sostenible	857.5	230.8	85.8	494.8
B1 2000-2050 Tendencial	856.7	230.8	85.9	494.5
A2 2000-2050 sense canvis	796.2	209.0	73.9	497.5
A2 2000-2050 sostenible	796.1	209.9	73.5	496.5
A2 2000-2050 Tendencial	795.4	209.9	73.5	495.9

	Hist	B1 sense canvis	B1 sostenible	B1 Tendencial	A2 sense canvis	A2 sostenible	A2 Tendencial
Històric	255.6						
2000-2024		230.6	231.5	231.5	218.0	218.9	218.9
2025-2049		229.2	230.1	230.1	200.0	200.9	200.9

TORDERA	P hm3/any	recàrrega hm3/any	cabal hm3/any	etr hm3/any
Històric	607.5	30.3	143.6	433.7
B1 2000-2050 sense canvis	583.2	29.6	114.9	438.6
B1 2000-2050 sostenible	583.7	29.6	114.6	439.5
B1 2000-2050 Tendencial	583.7	29.5	115.8	438.5
A2 2000-2050 sense canvis	541.1	25.3	95.2	420.5
A2 2000-2050 sostenible	541.6	25.3	95.0	421.3
A2 2000-2050 Tendencial	541.6	25.2	95.9	420.4

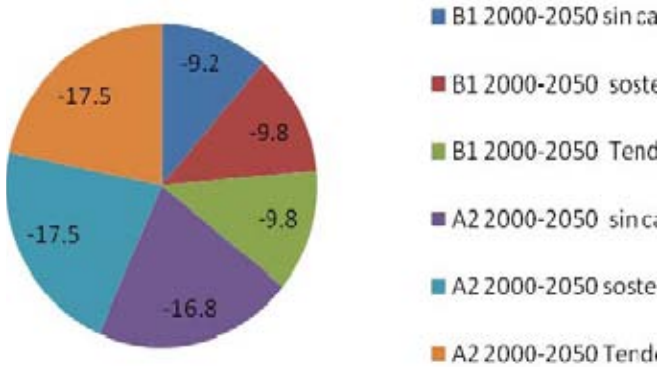
	Hist	B1 sense canvis	B1 sostenible	B1 Tendencial	A2 sense canvis	A2 sostenible	A2 Tendencial
Històric	30.3						
2000-2024		28.7	28.7	28.5	26.2	26.2	26.0
2025-2049		30.6	30.6	30.5	24.5	24.5	24.4

TORDERA	P hm3/any	recàrrega hm3/any	cabal hm3/any	etr hm3/any
Històric	310.9	34.8	33.0	243.1
B1 2000-2050 sense canvis	291.8	32.2	20.6	239.0
B1 2000-2050 sostenible	292.1	32.3	20.5	239.3
B1 2000-2050 Tendencial	292.2	32.0	20.2	240.0
A2 2000-2050 sense canvis	279.2	29.7	19.0	230.6
A2 2000-2050 sostenible	279.5	29.7	18.9	230.8
A2 2000-2050 Tendencial	279.6	29.5	18.6	231.5

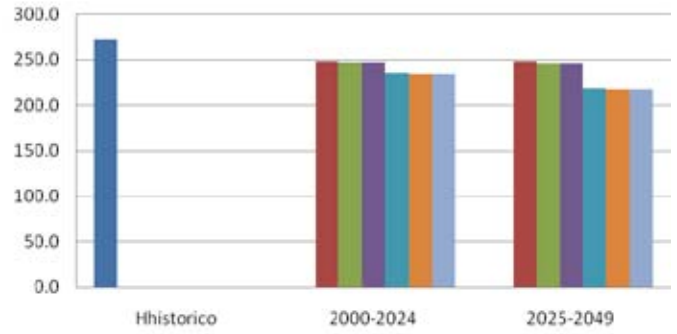
	Hist	B1 sense canvis	B1 sostenible	B1 Tendencial	A2 sense canvis	A2 sostenible	A2 Tendencial
Històric	34.8						
2000-2024		31.6	31.6	31.4	31.1	31.1	30.9
2025-2049		32.9	32.9	32.7	28.3	28.4	28.1

7.5. Altres escenaris

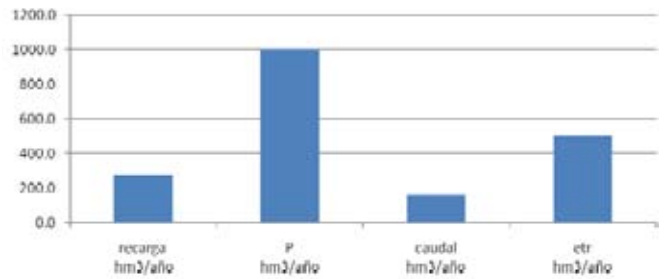
porcentaje de recarga FLUVIA



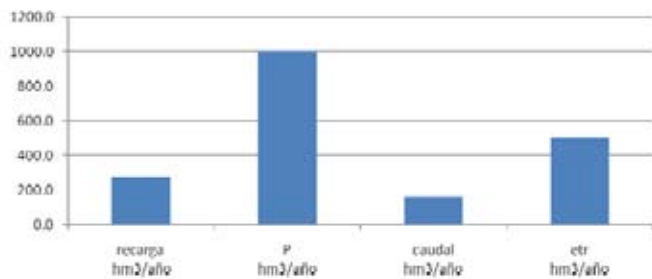
Recarga hm3/año FluviA



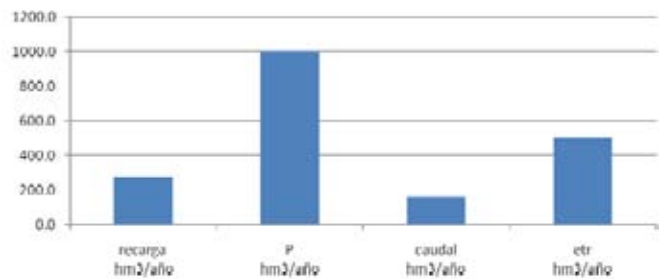
histórico



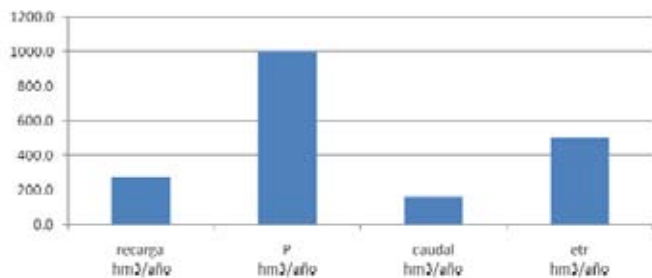
histórico



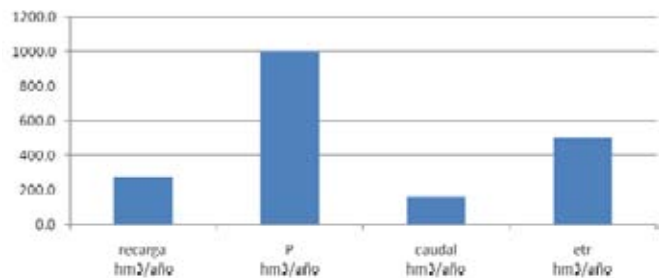
histórico



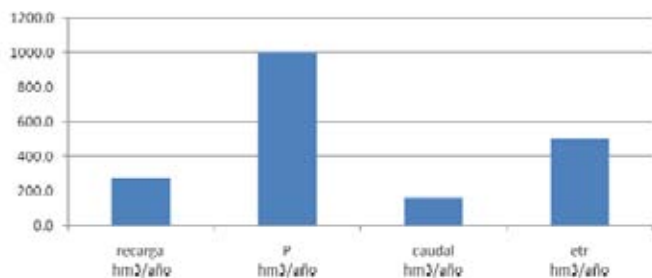
histórico



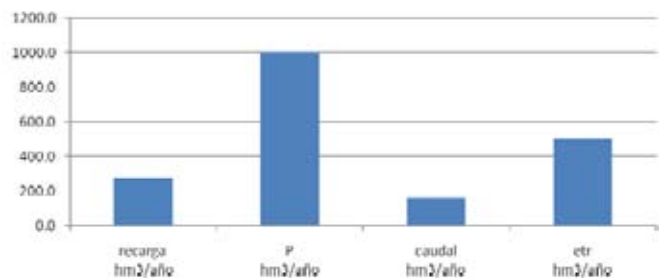
histórico



histórico

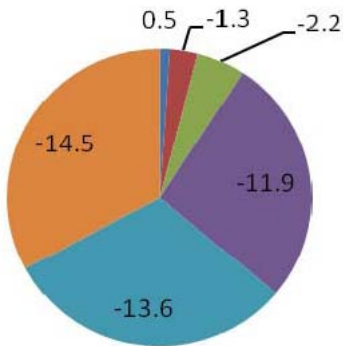


histórico

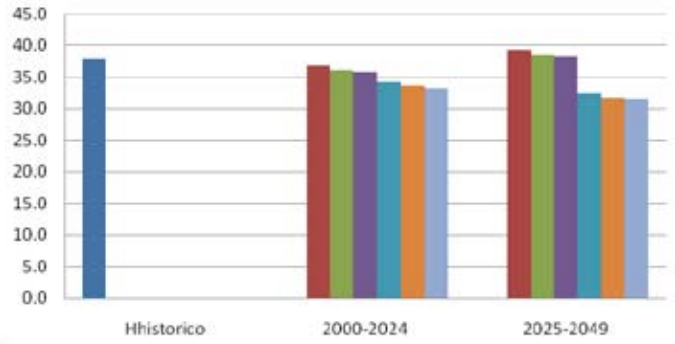


Recarga hm³/año TORDERA

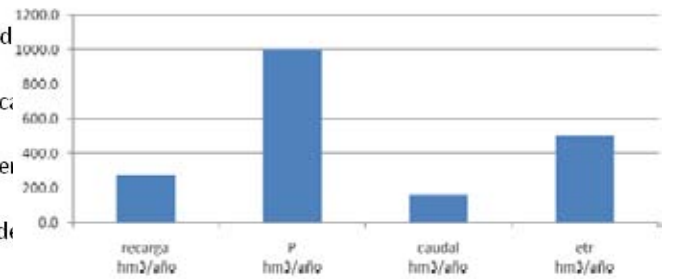
Porcentaje de recarga TORDERA



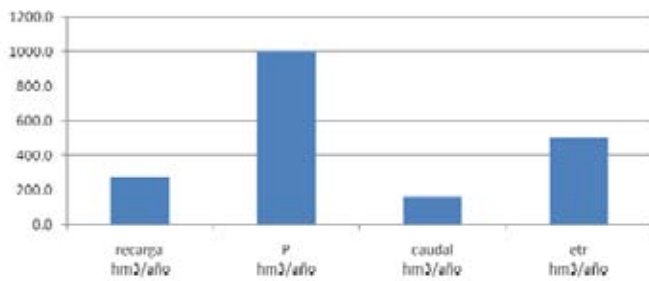
- B1 2000-2050 sin ca
- B1 2000-2050 soste
- B1 2000-2050 Tend
- A2 2000-2050 sin ca
- A2 2000-2050 soste
- A2 2000-2050 Tend



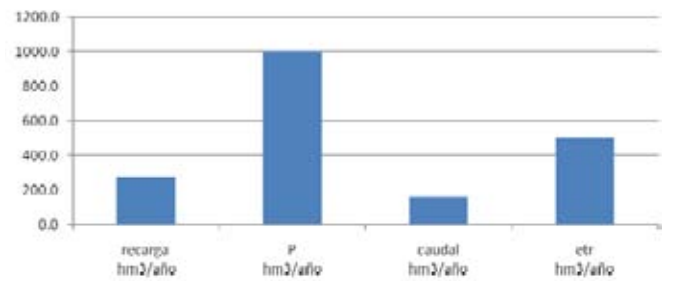
histórico



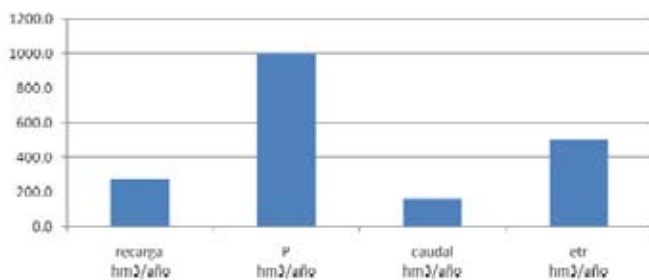
histórico



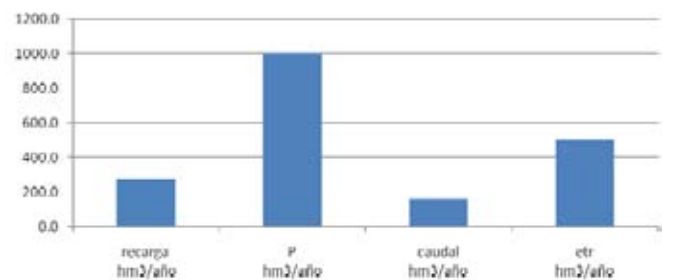
histórico



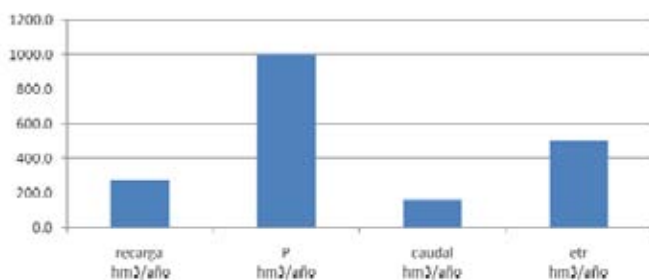
histórico



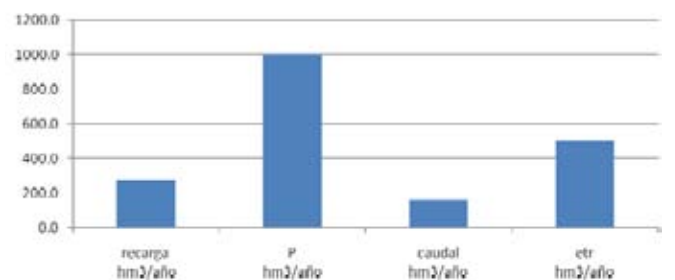
histórico



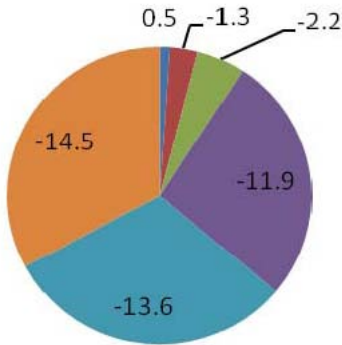
histórico



histórico

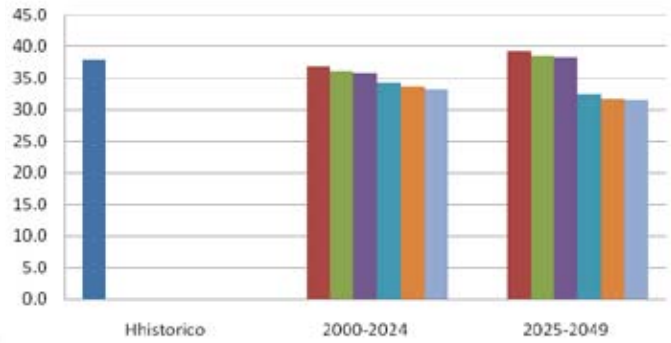


Porcentaje de recarga SIURANA

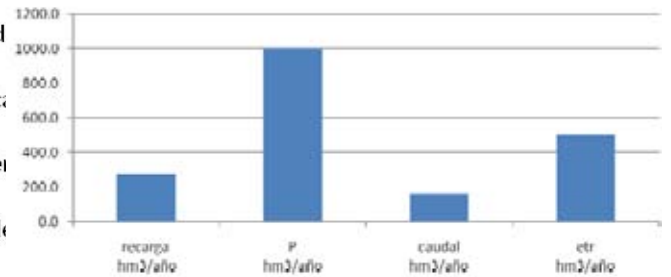


- B1 2000-2050 sin ca
- B1 2000-2050 soste
- B1 2000-2050 Tend
- A2 2000-2050 sin ca
- A2 2000-2050 soste
- A2 2000-2050 Tend

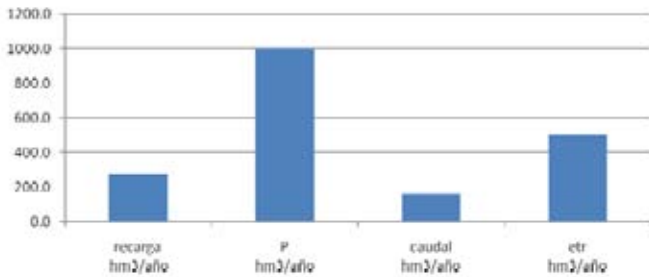
Recarga hm3/año TORDERA



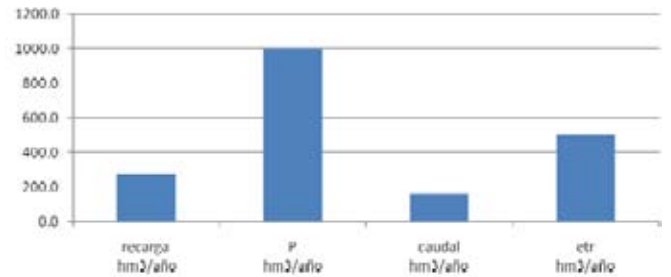
histórico



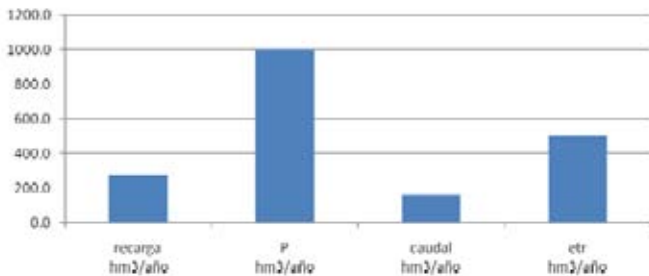
histórico



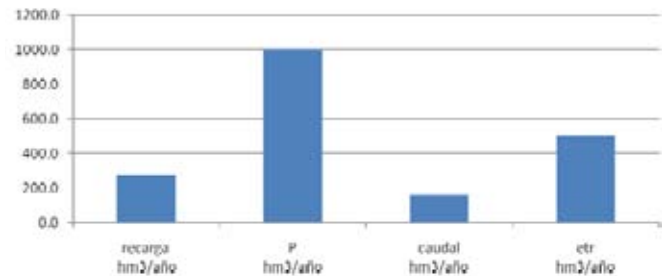
histórico



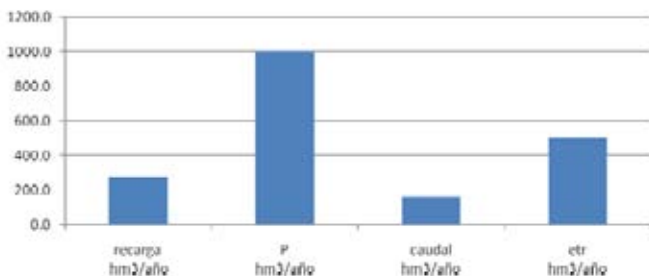
histórico



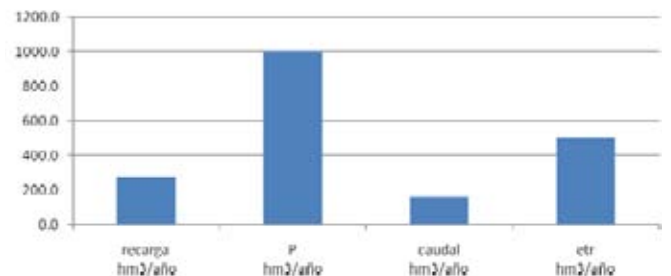
histórico



histórico



histórico



7.6. Equacions principals utilitzades en els fluxos d'aigua al sòl a GOTILWA+.

Equació	Número	Notes	Referències
	(1)	R_{hour} la precipitació horària. I és la intercepció. W_{soil} és la quantitat d'aigua al sòl. WFP_{max} és la capacitat de camp màxima.	Porta <i>et al.</i> (1994)
	(2)	P és la porositat. D_s és la densitat de partícules del sòl.	Honeysett i Ratkowsky (1989) Porta <i>et al.</i> (1994)
$M = \% \text{ soil water} / \text{maximum soil WFP}$	(3)	M és la humitat del sòl	

7.7 La influència del clima en la producció d'olives a Cabacés

Maig de 2009

1. Introducció

El projecte ACCUA avalua la vulnerabilitat territorial de diferents conques mediterrànies al canvi climàtic. Un dels components importants que cal considerar en aquesta avaluació és la sensibilitat de l'agricultura, en aquest cas el cultiu tradicional d'olivera, als canvis en el clima. En el context d'aquest projecte s'ha desenvolupat un estudi sobre la influència climàtica en la producció d'olives en una localitat de la conca del Siurana (DOP d'oli Siurana). Cal destacar la importància de l'olivera en l'economia local d'aquesta part de la comarca del Priorat. La primera aproximació en aquest tipus de treballs es focalitza en la recopilació de dades històriques disponibles de producció i de clima de cara a cercar quins condicionants climàtics estan modulant el desenvolupament dels cultius d'estudi.

En principi, l'olivera (*Olea europaea*) té dos moments crítics al llarg de l'any en què les condicions climàtiques han de ser favorables per obtenir-se una bona producció. Una és a l'abril-juny, que és el moment de la floració, i l'altra, al setembre-octubre, que és quan es forma el pinyol de l'oliva. Al mes de novembre és quan té lloc la collita. L'any 1995 es construí la presa de Margalef al riu Montsant, amb una capacitat força reduïda (2,98 hm³), que dona un reg de suport a la majoria de les explotacions d'oliveres de Cabacés des de principis del present segle en aquests dos moments crítics de l'any si les precipitacions són escasses. Per tant, el factor climàtic condicionant des de llavors hauria de ser la temperatura més que la precipitació, tot i que cal tenir en compte el dèficit de pressió de vapor (VPD) i l'evapotranspiració potencial (ETP). No obstant, alguns decrets de sequera com en el cas de l'any 2005 poden donar lloc a restriccions de reg.

2. Objectiu i dades

L'objectiu d'aquest informe és, doncs, descriure quina influència pot tenir les condicions climàtiques en la producció de les olives d'un enclavament concret de la conca del Siurana. Es disposa d'unes dades molt precises de la cooperativa agrícola de Cabacés sobre la producció d'olives des de 1970 fins a 2007. També disposem de dades de producció d'oli, però només des de 1980. Es tracta de la varietat arbequina, conreada d'acord amb les bones pràctiques agrícoles de tot el període d'estudi. Aquesta varietat ha patit molt poques plagues, com la mosca o l'ull de gall, a Cabacés.

S'entén que les produccions corresponen a terres del municipi de Cabacés perquè les poblacions veïnes de la Bisbal de Falset, Margalef i la Figuera ja tenen les seves pròpies cooperatives. Aquesta àrea del nord-oest del Priorat es distingeix per especialitzar-se en la producció d'oli en detriment de la vinya i l'ametller. L'any 1941 la cooperativa de Cabacés registrà 200 ha d'olivers, 90 ha de vinya i 50 ha d'ametllers. Les gairebé 500 ha d'olivera que ha comptabilitzat enguany la cooperativa de Cabacés és fruit de la conversió dels altres dos cultius (de vinya resta algun cultiu, però l'ametller ha desaparegut pràcticament) i l'aparició de nous camps de conreu per desforestació.

Les dades meteorològiques que tenim de Cabacés són de precipitació des de 1970 fins a 2000 de la base de dades MOPREDAMES (González-Hidalgo *et al.*, en premsa), i de 2001 a 2007 de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). Segons el test de Von-Neumann aplicat a les sèries, utilitzant el programa AnClim (Stepanek, 2007), no es detecten inhomogeneïtats en ajuntar les dades

d'ambdues fonts. Les dades de temperatura són des de 1971 fins al 2007 de l'AEMET, i es compta amb la temperatura màxima (Tmàx), la temperatura mínima (Tmín) i la temperatura mitjana (Tmit). Les sèries són a resolució mensual. Només hi ha un buit de dades en les sèries de temperatura al maig de 1993. D'aquestes dades, deduïm que Cabacés té un clima mediterrani continental amb una precipitació mitjana de 510 mm, una Tmit coherent en un àmbit mediterrani (14,8 °C) i una amplitud tèrmica mitjana força elevada de 9,6 °C que delata la seva localització resguardada de la influència marítima.

3. Mètodes

Per deduir, de forma simple i ràpida, una primera influència climàtica sobre les produccions d'olives i d'oli a Cabacés es calculen els coeficients de correlació de Pearson entre les dades de producció i les sèries climàtiques. S'estableix el llindar 95% del nivell de confiança per deduir-ne la seva significació. Després s'assagen correlacions mòbils per comprovar que les relacions de dependència de les produccions de variables climàtiques concretes es mantenen al llarg del període d'estudi.

Per entendre el comportament de certes variables climàtiques cal estudiar la variabilitat de determinats patrons de teleconnexió. Aquests patrons indiquen la variabilitat de les circulacions atmosfèriques sobre determinades regions del món que permeten entendre millor la influència de les variables climàtiques en terceres variables com ara les produccions agrícoles.

L'aplicació d'una anàlisi de components principals (ACP), tècnica àmpliament usada amb el propòsit de reduir variables, a les sèries climàtiques juntament amb la producció d'olives ens permetrà corroborar la selecció d'aquelles variables com a

les més influents en les produccions.

Per últim, d'aquelles variables climàtiques enteses com les més influents en la producció d'olives i d'oli es calcula un model de regressió múltiple que expliqui satisfactòriament la variabilitat d'aquesta producció. L'evolució i tendència recents d'aquestes variables també són d'interès per preveure adaptacions immediates de l'olivera.

4. Resultats

4.1. Coeficients de correlació de Pearson

La primera anàlisi és calcular els coeficients de correlació entre la sèrie de producció d'olives i d'oli i algunes variables climàtiques com la precipitació, la Tmàx, la Tmín i la Tmit. Les correlacions s'han calculat per mesos, estacions i anualment. Quant a la precipitació, és en el mes més eixut, juliol (mitjana de 10,9 mm), quan hi ha una influència significativa (Taula 1). Aquells anys en què els mesos de juliol no són secs la producció augmentaria notablement. L'hivern és la segona estació més seca després de l'estiu i sembla que també té una certa influència en la collita del mes de novembre següent (s'ha correlacionat la precipitació del mes de desembre desplaçat en un any). Aquests resultats es corroboren amb els obtinguts en la producció d'oli (Taula 2).

Mentre en la precipitació es denota una certa relació directament proporcional entre la producció d'olives i oli a les estacions dels solsticis, en les temperatures és en les estacions equinoccials. Els mesos d'abril i octubre són els que es correlacionen més satisfactòriament tant amb la producció d'olives com d'oli, sobretot, al mes d'abril segons les Tmàxs. Anualment, hi ha una relació significativa amb les Tmàxs i Tmits. Amb les Tmíns hi ha un debilitament de les correlacions.

	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P	E	T	H	A
Prec.	0,18	0,19	-0,07	-0,06	0,18	-0,04	0,43	0,03	-0,01	-0,10	-0,07	0,22	0,05	0,07	-0,10	0,30	0,06
Tmín	0,11	-0,10	0,13	0,47	0,09	0,23	0,09	0,23	-0,03	0,34	0,08	0,00	0,37	0,23	0,20	0,02	0,23
Tmàx	0,40	0,20	0,30	0,70	0,23	0,22	0,16	0,39	0,32	0,47	0,34	0,32	0,58	0,32	0,53	0,39	0,56
tmed	0,28	0,07	0,24	0,67	0,17	0,23	0,13	0,33	0,17	0,43	0,22	0,17	0,53	0,29	0,41	0,24	0,47

Taula 1. Coeficient de correlació de Pearson entre la sèrie de producció d'olives i la precipitació, la Tmín, Tmàx i Tmit a Cabacés per al període 1970-2007. Els coeficients significatius s'han subratllat.

	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P	E	T	H	A
Prec.	0,31	0,09	-0,02	0,01	0,16	-0,05	0,54	0,08	-0,10	-0,22	-0,18	0,37	0,09	0,12	-0,27	0,42	0,07
Tmín	0,12	-0,17	-0,02	0,45	0,08	0,25	-0,04	0,14	-0,16	0,37	-0,14	0,00	0,34	0,18	0,02	-0,01	0,10
Tmàx	0,39	0,17	0,22	0,68	0,26	0,26	0,06	0,37	0,30	0,49	0,22	0,30	0,57	0,32	0,54	0,36	0,58
tmed	0,28	0,03	0,13	0,66	0,19	0,26	0,01	0,29	0,08	0,46	0,03	0,16	0,54	0,28	0,35	0,22	0,51

Taula 2. Ídem que Taula 1, però per a la producció d'oli (1980-2007).

A la Figura 1 es comprova si les correlacions entre la producció d'olives i la precipitació al mes de juliol i a l'estació hivernal s'ha mantingut constant al llarg del període d'estudi. Hi ha la hipòtesi que la construcció del pantà de Margalef als anys 90 podria haver esborrat la influència de la precipitació en la producció d'olives. En la Figura 2, es fa la mateixa anàlisi però per al període 1980-2007 amb la producció d'oli.

La hipòtesi es compleix més aviat per a l'estació hivernal però no per al mes de juliol (Figura 1). Sembla que hi ha una millor correlació a finals del període que no pas a l'inici al mes de juliol, sobretot, per al cas de la producció d'oli (Figura 2).

D'altra banda, la dependència de la producció d'olives (Figura 3) i d'oli (Figura 4) de les Tmàx mostra que el mes d'abril és el més constant al llarg d'ambdós períodes. Hi ha certa davallada de la influència als darrers anys situant-se lleugerament per sota la significació. Es conclou que aquelles primaveres en què el mes d'abril presenta temperatures elevades afavoriran la producció. Les gelades en aquesta època de l'any podrien ser fatals.

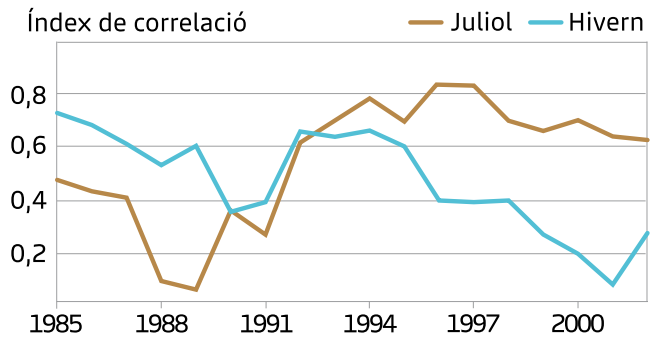


Figura 2. Ídem que Figura 1, però per a la producció d'oli durant el període 1985-2002.

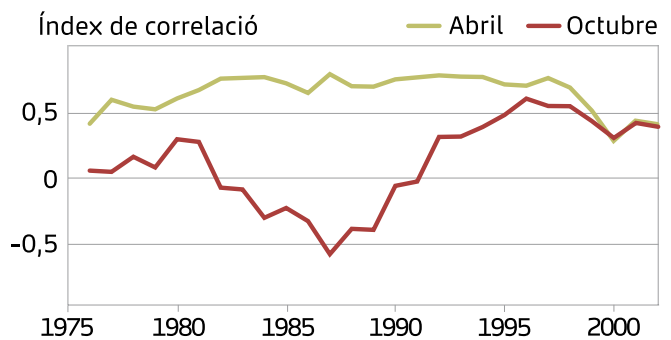


Figura 3. Correlacions mòbils d'11 anys entre la producció d'olives i la Tmàx d'abril i octubre a Cabacés per al període 1976-2002. S'ha establert el llindar /0,60/ per indicar que la correlació és significativa.

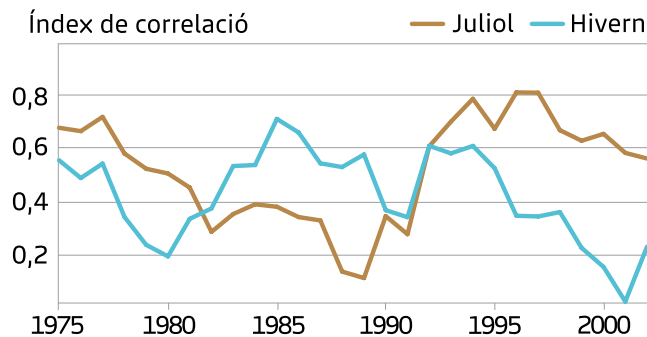


Figura 1. Correlacions mòbils d'11 anys entre la producció d'olives i la precipitació de juliol i d'hivern a Cabacés per al període 1975-2002. S'ha establert el llindar /0,60/ per indicar que la correlació és significativa.

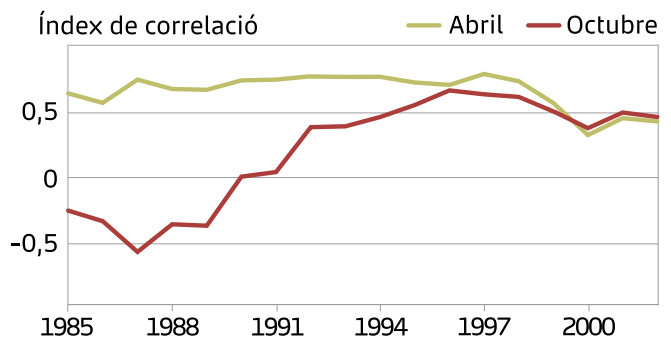


Figura 4. Ídem que Figura 3, però per a la producció d'oli durant el període 1985-2002.

El mes d'octubre no presenta la constància del mes d'abril, és a dir, els darrers anys sembla haver tingut una influència significativa en la producció d'olives i d'oli però a la dècada dels 80 tenia una relació de signe oposat.

4.2. La influència dels patrons de teleconnexió

El paper dels patrons de teleconnexió en l'olivera és bastant nul. Els dos patrons de teleconnexió amb una major influència en el clima de Catalunya són la coneguda oscil·lació de l'Atlàntic Nord (NAO) (Hurrell, 1995) i l'oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO) (Martin-Vide i Lopez-Bustins, 2006). Si correlacionem els índexs d'ambdós patrons (NAOi i WeMOi) amb les sèries de precipitació i Tmàx de Cabacés ens adonem que no són gaires els mesos en què s'obtenen uns coeficients significatius (Taula 3). La influència més apreciable és la de la NAO sobre la precipitació durant la meitat freda de l'any.

Si correlacionem la producció d'olives i els índexs dels patrons de teleconnexió es detecta una certa influència de les fases negatives

d'aquests en el mes de gener (Taula 4), degut a la bona correlació existent (la més satisfactòria de tots els mesos i estacions de l'any) entre la precipitació de Cabacés i el WeMOi en aquest mes (Taula 3). La precipitació de gener està positivament correlacionada amb la producció d'olives (Taula 1) i d'oli (Taula 2), essent gairebé significativa en aquest últim cas. És a dir, aquells mesos de gener en què les llevantades siguin més freqüents (fase negativa de la WeMO) es podria afavorir la producció d'olives i d'oli a Cabacés.

L'altra influència que es detecta sobre la producció d'olives és per part de la fase positiva de la NAO en el mes de febrer (Taula 4). Les fases positives de la NAO s'associen a circulacions de l'oest que no aporten humitat a la major part de Catalunya i que deriven en un aire més aviat rescalfat després de creuar tota la península. Per tant, veient que les fases positives de la NAO són de màxima influència en les Tmàxs del mes de febrer (Taula 3), és possible que aquestes fases donin lloc a l'increment de producció d'olives, ja que afavoreixen l'activació post-hivern i l'inici del creixement de la diferenciació vegetativa i reproductiva.

	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P	E	T	H	A
Prec./NAOi	-0,72	-0,19	-0,36	-0,52	-0,17	-0,28	0,02	-0,03	-0,42	0,02	-0,52	-0,60	-0,29	-0,01	-0,13	-0,64	-0,12
Prec./WeMOi	-0,55	-0,43	-0,29	-0,08	0,06	-0,04	0,24	0,17	-0,23	-0,28	-0,34	-0,52	0,10	0,28	-0,28	-0,41	-0,05
Tmàx/NAOi	-0,07	0,67	0,47	0,27	0,46	0,34	0,06	0,06	0,30	0,33	-0,09	0,17	0,37	0,09	-0,15	-0,02	0,01
Tmàx/WeMOi	-0,07	0,23	-0,16	-0,25	-0,33	-0,51	-0,25	-0,06	-0,26	-0,30	-0,30	0,11	-0,05	-0,26	-0,23	-0,04	-0,08

Taula 3. Coeficients correlació de Pearson entre la precipitació i la Tmàx i el NAOi i el WeMOi per al període 1970-2000. (De moment, només hi ha dades disponibles del WeMOi fins al 2000). (Els coeficients subratllats són significatius).

	G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	P	E	T	H	A
Kg olives/NAOi	-0,23	0,39	-0,19	0,07	0,07	$-\frac{0,2}{8}$	-0,10	-0,09	0,05	-0,18	0,07	0,00	-0,03	-0,30	-0,03	0,07	-0,11
Kg olives/WeMOi	-0,43	0,07	-0,10	-0,14	0,21	0,16	0,10	0,12	-0,12	0,04	0,21	-0,05	-0,04	0,19	0,05	-0,22	0,05

Taula 4. Coeficients correlació de Pearson entre la producció d'olives i el NAOi i el WeMOi per al període 1970-2000. (De moment, només hi ha dades disponibles del WeMOi fins al 2000). (Els coeficients subratllats són significatius).

Component	1	2	3	4	5	6	7
pluvio_gener	0,18	-0,43	0,43	-0,30	0,17	-0,04	-0,10
pluvio_febrer	-0,07	0,47	-0,02	0,01	0,24	-0,52	0,16
pluvio_març	-0,36	0,11	-0,27	-0,23	-0,39	-0,36	0,01
pluvio_abril	0,07	-0,16	0,03	-0,24	-0,32	0,16	-0,32
pluvio_maig	0,05	-0,23	0,02	-0,16	-0,16	-0,66	0,22
pluvio_juny	0,04	-0,74	-0,10	-0,18	0,14	-0,04	0,05
pluvio_juliol	0,18	-0,17	0,28	-0,56	-0,21	-0,14	0,03
pluvio_agost	-0,21	0,03	-0,03	-0,52	0,27	0,02	0,27
pluvio_setembre	-0,06	0,09	-0,37	-0,36	-0,01	0,09	0,53
pluvio_octubre	-0,07	0,13	0,20	0,13	0,05	0,27	0,67
pluvio_novembre	0,02	0,30	0,11	0,00	0,50	-0,10	0,26
pluvio_desembre	0,19	-0,19	0,19	-0,63	-0,30	-0,09	-0,09
pluvio_primavera	-0,14	-0,15	-0,13	-0,33	-0,46	-0,54	0,00
pluvio_estiu	-0,03	-0,61	-0,03	-0,49	0,18	-0,05	0,16
pluvio_tardor	-0,06	0,23	0,04	-0,04	0,22	0,19	0,78
pluvio_hivern	0,20	-0,21	0,35	-0,56	-0,03	-0,24	-0,06
pluvio_anual	-0,05	-0,22	0,14	-0,57	0,03	-0,22	0,57
tmax_gener	0,36	0,46	0,53	-0,35	-0,13	-0,09	-0,17
tmax_febrer	0,43	-0,18	0,42	0,06	-0,36	0,29	0,08
tmax_març	0,77	0,10	0,20	-0,09	-0,07	0,39	0,22
tmax_abril	0,80	0,08	-0,01	-0,02	0,10	-0,09	-0,04
tmax_maig	0,35	0,33	-0,01	0,01	-0,13	0,74	0,22
tmax_juny	0,19	0,86	-0,06	-0,06	-0,05	0,15	-0,05
tmax_juliol	0,14	0,78	-0,04	0,01	0,30	0,19	0,14
tmax_agost	0,52	0,46	0,09	0,37	-0,26	-0,05	0,39
tmax_setembre	0,51	0,17	0,08	0,71	-0,14	-0,02	-0,05
tmax_octubre	0,70	0,19	0,26	0,13	0,06	0,12	-0,43
tmax_novembre	0,55	0,06	-0,16	-0,23	0,52	0,12	-0,04
tmax_desembre	0,35	0,19	0,77	0,03	-0,08	-0,02	0,20
tmax_primavera	0,81	0,21	0,09	-0,04	-0,05	0,45	0,18
tmax_estiu	0,36	0,88	0,00	0,13	-0,02	0,12	0,19
tmax_tardor	0,82	0,20	0,10	0,26	0,20	0,11	-0,27
tmax_hivern	0,49	0,21	0,73	-0,12	-0,25	0,08	0,04
tmax_anual	0,80	0,45	0,20	0,05	-0,04	0,26	0,05
tmed_gener	0,22	0,36	0,66	-0,35	-0,03	-0,10	-0,23
tmed_febrer	0,25	-0,23	0,59	0,15	-0,24	0,24	0,07
tmed_març	0,71	0,09	0,23	-0,03	0,02	0,32	0,21
tmed_abril	0,82	0,08	0,02	0,08	0,20	-0,10	-0,12
tmed_maig	0,34	0,30	-0,02	0,03	-0,03	0,77	0,22
tmed_juny	0,22	0,86	0,02	-0,01	0,02	0,13	-0,04
tmed_juliol	0,11	0,75	0,00	0,12	0,41	0,17	0,15
tmed_agost	0,46	0,44	0,16	0,42	-0,19	-0,07	0,46
tmed_setembre	0,36	0,15	0,05	0,79	-0,01	0,01	0,03
tmed_octubre	0,66	0,15	0,27	0,23	0,15	0,16	-0,37
tmed_novembre	0,41	0,02	-0,12	-0,12	0,76	0,07	0,00
tmed_desembre	0,14	0,11	0,84	0,02	0,04	-0,02	0,18
tmed_primavera	0,81	0,21	0,11	0,03	0,07	0,48	0,16
tmed_estiu	0,33	0,86	0,07	0,22	0,10	0,10	0,23
tmed_tardor	0,71	0,15	0,11	0,40	0,45	0,13	-0,19
tmed_hivern	0,27	0,12	0,93	-0,09	-0,10	0,05	0,00
tmed_anual	0,73	0,44	0,31	0,17	0,19	0,26	0,06
tmin_gener	0,04	0,19	0,72	-0,31	0,10	-0,09	-0,27
tmin_febrer	-0,04	-0,25	0,68	0,24	-0,03	0,13	0,03
tmin_març	0,48	0,06	0,21	0,06	0,14	0,16	0,15
tmin_abril	0,66	0,06	0,06	0,21	0,32	-0,08	-0,23

Component	1	2	3	4	5	6	7
tmin_maig	0,31	0,23	-0,03	0,05	0,11	0,75	0,21
tmin_juny	0,24	0,79	0,12	0,07	0,12	0,11	-0,03
tmin_juliol	0,07	0,68	0,04	0,23	0,51	0,14	0,16
tmin_agost	0,33	0,37	0,24	0,45	-0,08	-0,09	0,51
tmin_setembre	0,15	0,10	0,02	0,76	0,14	0,04	0,11
tmin_octubre	0,56	0,10	0,26	0,33	0,25	0,19	-0,27
tmin_novembre	0,22	-0,03	-0,07	-0,01	0,89	0,02	0,04
tmin_desembre	-0,10	0,01	0,82	0,01	0,16	-0,01	0,13
tmin_primavera	0,66	0,17	0,12	0,14	0,25	0,44	0,10
tmin_estiu	0,26	0,78	0,17	0,32	0,25	0,07	0,27
tmin_tardor	0,47	0,08	0,10	0,49	0,67	0,13	-0,07
tmin_hivern	-0,04	-0,01	0,98	-0,04	0,11	0,01	-0,05
tmin_anual	0,47	0,33	0,40	0,31	0,48	0,20	0,06
kg_olives	0,77	0,14	-0,01	-0,21	-0,09	-0,28	0,04

Mètode d'extracció: Anàlisi de components principals
Mètode de rotació: Normalització Varimax amb Kaiser.
A la rotació han convergit 12 iteracions

Taula 5. Matriu de components rotades a partir d'una anàlisi de components principals (ACP) de les variables climàtiques de precipitació, Tmàx, Tmín i Tmit per mesos, estacionalment i anualment, i de producció d'olives. (Les càrregues factorials subratllades indiquen a quina component principal -CP- s'associa cada variable, i aquelles superiors a /0,75/ a la primera component són les variables més representatives).

4.3. Anàlisi de components principals (ACP)

Per corroborar la influència de les Tmàxs en la producció d'olives s'ha portat a terme una ACP de totes les variables climàtiques (precipitació, Tmàx, Tmín i Tmit) per mesos, estacionalment i anualment, i la producció d'olives per al període 1970-2007. S'han extret 7 components principals (CP) a partir d'una matriu de correlacions i una rotació varimax. Aquesta rotació simplifica la discriminació de les variables assignades a cada un d'ells, és a dir, disminueix la dependència entre les components principals CP (Richman, 1986). Un dels resultats de sortida (*output*) són les càrregues factorials (*loadings*) o coeficients de correlació entre cada una de les variables d'entrada i cada una de les CP, que permetran el procés d'agrupament de variables. Aquestes 7 components expliquen el 75% de la variància, just on es detecta un canvi de pendent abrupte en la gràfica de sedimentació (no es mostra). La primera component inclou la producció d'olives perquè s'hi correlaciona amb un coeficient de 0,77. Les variables que es correlacionen per sobre de 0,75 amb aquesta primera component són les Tmàxs, sobretot,

les dels mesos primaverals (Taula 5). Les Tmíns no es correlacionen per sobre de 0,75 amb aquesta primera tot i que les Tmíns d'alguns mesos de primavera s'inclouen dins aquesta primera component. D'altra banda, s'apunta a una certa equinoczialitat en la influència de les Tmàxs en la producció d'olives si ens fixem que la Tmàx de tardor també es correlaciona molt satisfactòriament amb aquesta primera component. En canvi, cap variable derivada de la precipitació s'associa amb la primera component, per tant, no es pot corroborar una relació directa entre la producció d'olives i la precipitació mitjançant aquesta ACP.

4.4. Model de regressió múltiple

Tenint en compte les darreres anàlisis podem concloure que la bona producció de l'olivera i d'oli dependrà de les Tmàxs de dos mesos de transició entre l'estació freda i càlida, abril i octubre, i d'un moderat estrès hídric atenuat al moment més sec de l'any (el juliol). Per tant, s'assajarà una regressió múltiple amb el programa STATGRAPHICS per veure la dependència entre la producció d'olives

i aquestes tres variables climàtiques. No obstant, per decidir la simplificació del model cal tenir en compte que el p-valor més elevat en les variables independents és 0,3010, que pertany a la Tmàx d'octubre. Donat que el p-valor és superior o igual a 0,10, aquest terme no és estadísticament significatiu per al nivell de confiança del 90% o superior. Per tant, es considera de treure la Tmàx d'octubre del model. A més, la Tmàx d'octubre no es presentava tan fidel com la d'abril ja que en les gràfiques de correlacions mòbils mostra una relació negativa amb la producció d'olives i d'oli als anys 80 (Figures 3 i 4).

El model de regressió múltiple es porta a terme per a les variables de la precipitació de juliol i la Tmàx d'abril. A la Figura 5 es pot comprovar com el model s'ajusta satisfactòriament a l'evolució de la producció d'olives, havent una correlació entre ambdues variables superior al 99,9% del nivell de confiança. L'estadístic R-quadrat indica que el model explica un 60,8% de la variabilitat de la producció d'olives. El reg de suport juntament amb la conversió d'altres cultius com la vinya o els ametllers han incrementat notablement les superfícies de conreu de l'olivera i el seu rendiment per ha al llarg de les darreres dècades independentment

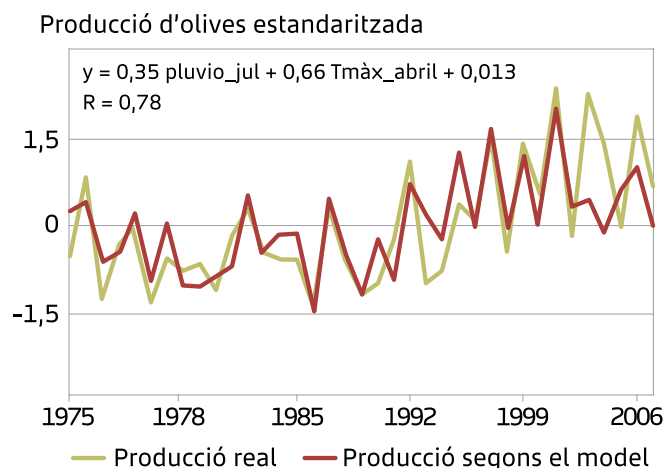


Figura 5. Evolució de la producció d'olives i de la nova variable modelitzada segons la Tmàx d'abril i la precipitació de juliol a Cabacés durant el període 1970-2007. Les variables s'han estandaritzat prèviament per poder obtenir valors comparables entre la variable producció d'olives i la nova variable derivada del model.

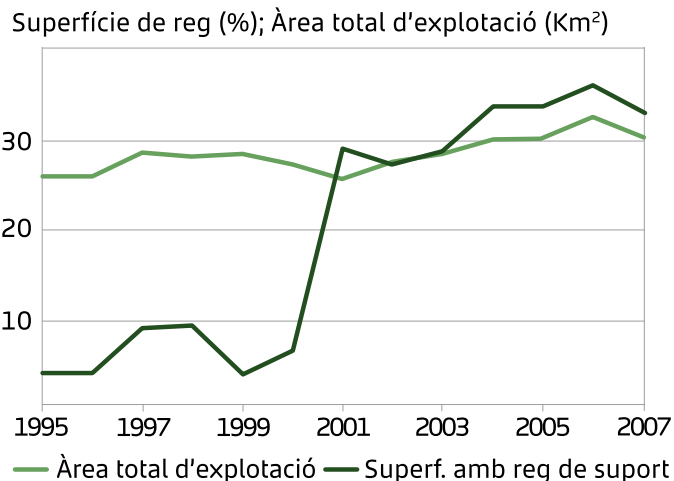


Figura 6. Evolució en el conjunt de la comarca del Priorat del % de superfície d'explotació d'oliveres amb reg de suport i l'àrea total de producció d'olives en km². Font de les dades: DAR.Z

de l'evolució de les variables climàtiques. No obstant, en el conjunt de la comarca del Priorat, des de 1995 l'increment de producció ha estat força moderat, mentre el % de reg de suport de l'olivera va experimentar un salt considerable al 2001 (Figura 6). Aquesta extensió del reg de suport a la comarca del Priorat a principis del present segle podria explicar perquè el model es desajusta radicalment a partir de 2003. Cal destacar el fet que l'expansió del reg de suport en les explotacions d'oliveres sembla haver-se estabilitzat al Priorat ja que el % d'àrea irrigada es manté força paral·lel a l'evolució de l'àrea total de producció durant els darrers anys.

4.5. Tendències recents de les variables climàtiques més influents

Sabent la importància que té la precipitació al mes de juliol i la Tmàx al mes d'abril és important estudiar la seva evolució temporal i tendència al llarg de les darreres dècades. La precipitació mostra una certa davallada, tot i que no significativa, que és coherent amb la reducció de la precipitació estival que està tenint lloc arreu de la conca Mediterrània Occidental per una disminució de les tempestes convectives associades als fronts de brisa (Millán *et al.*, 2008) (Figura 7, esquerra). Els mesos de juliol més secs, a part dels últims anys, han tingut lloc entre finals dels 80 i principis dels 90. La

Tmàx d'abril ha augmentant significativament, sobretot des de finals dels 80, de l'ordre de gairebé un 1°C per dècada¹ (Figura 7, dreta). Aquest increment és coherent amb l'augment de temperatura detectat a la primavera per al conjunt de Catalunya en l'estudi de Brunet *et al.* (2001). Es tracta d'un fenomen consistent amb l'escalfament global actual. En conseqüència, aquest fort augment de la temperatura deu haver donat lloc a un increment de l'ET al mes d'abril durant les darreres dècades.

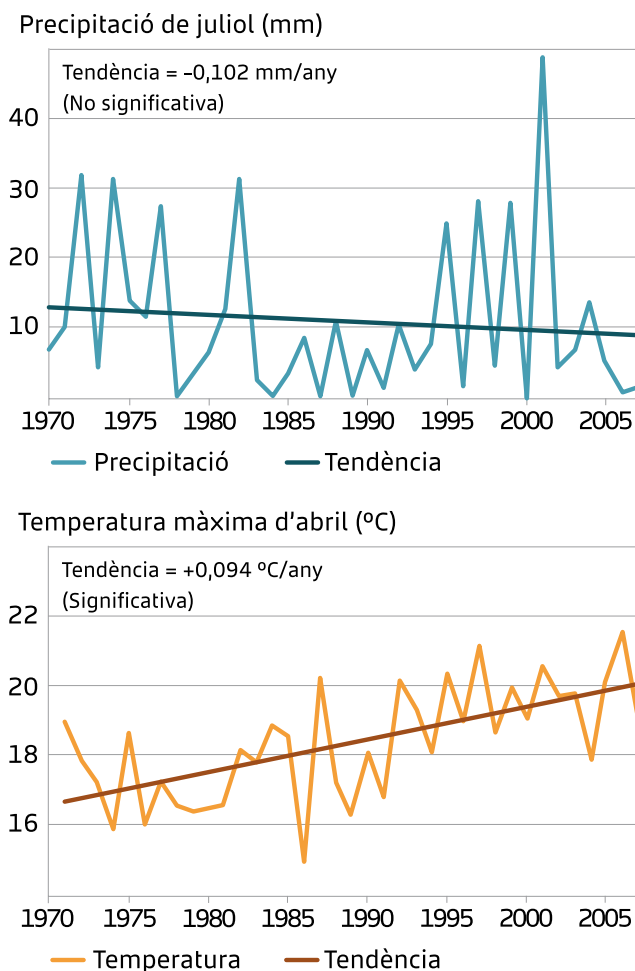


Figura 7. (Esquerra) Evolució i tendència de la precipitació de juliol a Cabacés per al període 1970-2007. (Dreta) Evolució i tendència de les Tmàx del mes d'abril a Cabacés per al període 1971-2007.

¹ Aquest increment de gairebé d'1°C per dècada de la Tmàx d'abril pot estar lleugerament sobreestimat per alguna petita inhomogeneïtat que s'ha detectat a posteriori a principis dels anys 90 en la sèrie de la temperatura mitjana anual de Cabacés.

5. Discussió i conclusions

La variable més influent en la producció d'olives i d'oli és la Tmàx primaveral, sobretot, la del mes d'abril. També ho és la Tmàx de la tardor, tot i no ser constant en el temps, i la precipitació de juliol. L'ACP ha demostrat una major afinitat de les variables derivades de la temperatura que no pas de la variable de la precipitació per explicar les produccions de les oliveres. En definitiva, es detecta una influència complementària entre la precipitació i la temperatura sobre la producció d'olives i d'oli. La primera és important per a les produccions durant les estacions més freda i càlida, i la segona en aquelles estacions de transició. És clau el moment de la floració de l'olivera a la primavera per relacionar-ho amb les temperatures màximes d'abril.

Els patrons de teleconnexió de la NAO i la WeMO, com a indicadors de la circulació atmosfèrica sobre Europa Occidental, només tenen una lleugera influència en les produccions en els mesos de gener i febrer que no són d'importància rellevant per estudiar més enllà el comportament d'aquests patrons.

S'ha pogut construir un model de regressió múltiple (anàlisi determinística) a partir de la Tmàx d'abril i la precipitació de juliol que arriben a explicar el 61% de la variabilitat de la producció d'olives. Les tendències recents d'aquestes variables que regeixen el model poden condicionar la futura producció d'olives. L'estiu és el moment de l'any amb un major estrès hídric per a aquest cultiu. Les reserves del pantà de Margalef no podrien arribar a ser suficients per donar un reg de suport a totes les plantacions si les precipitacions continuen amb tendència negativa a l'estiu. Malauradament, els models de canvi climàtic segons el darrer informe de l'IPCC de 2007, mentre per a la meitat freda de l'any sembla no haver-hi un consens sobre la futura evolució de la precipitació a la Mediterrània, apunten per a la meitat càlida una reducció important de la pluviometria a la península Ibèrica.

Les Tmàx d'abril han tingut un increment molt significatiu a finals del segle XX. Això

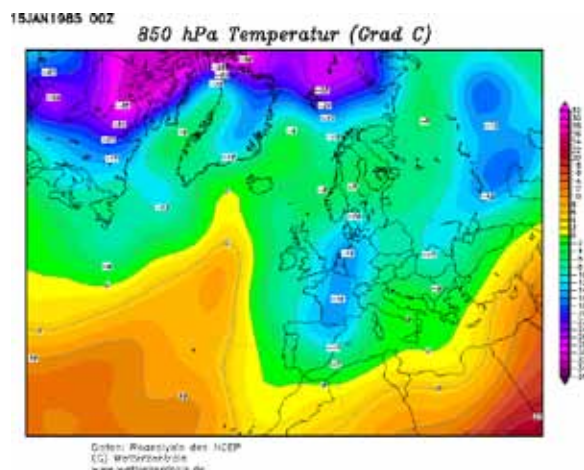
ha donat lloc a l'ocurrència de fenòmens excepcionals com la ratxa de 6 dies en què se superaren els 25 °C al mes d'abril de 1992. Aquell any la producció fou abundant. També cal comentar altres casos de les Tmàxs del mes d'abril, com el de 2006 en què durant el 90% dels dies se superà la mitjana de les Tmàxs d'aquest mes (18,4 °C). Això comportà que el 2006 també fos un any molt productiu. El fet que se sobrepassin els 18,4 °C al mes d'abril en un percentatge elevat de dies afavoreix, sens dubte, la producció d'olives i d'oli, com és en el cas dels anys de 1997, 1999 i 2001 (Figura 5). No obstant, a l'abril de 1994 també van ser freqüents els dies que superaren aquest llindar però la producció fou modesta, possiblement per les minses precipitacions d'aquell estiu que se sumaren a una sequera que persistia des de mesos anteriors, fenomen que estava tenint lloc a àmplies zones de la península Ibèrica (Olcina Cantos, 2001).

Independentment de l'època de l'any, les glaçades extremes poden perjudicar molt la producció d'olives. L'olivera pot arribar a morir si les glaçades arriben a -11 °C. En la sèrie de Cabacés de 1971 a 2007 no s'ha arribat a aquest llindar però s'han arribat a valors inferiors a -7,5 °C als anys 1971, 1976, 1985 i 2001. Són situacions sinòptiques que es caracteritzen per una entrada persistent de masses d'aire àrtiques continentals (Figura 8), situant-se la isoterma -12 °C a 850 hPa sobre Catalunya. Les glaçades que van tenir lloc al desembre de 2001 van ser molt persistents i contínues durant gairebé dues setmanes, assolint valors inferiors als -7,5 °C en més d'un dia. Aquestes baixes temperatures es van ressentir en les oliveres que van donar una modesta producció l'any següent (Figura 5). És un fenomen que tingué lloc amb més severitat i danys més greus en les oliveres de la comarca veïna de les Garrigues.

El fet que el reg de suport de les oliveres hagi pogut estabilitzar la seva expansió al Priorat podria començar a qüestionar si l'àrea de producció d'olives actualment depèn del reg de suport que es pugui abastir en aquell any concret. S'ha arribat a un estadi d'equilibri en què es mantenen uns alts nivells de producció

gràcies a un reg de suport al voltant del 35% (Figura 6), fins i tot deu ser superior en el cas de Cabacés per la proximitat del pantà de Margalef, però subjectes a altes variabilitats davant adversitats severes de la meteorologia. En els anys que té lloc un fenomen meteorològic extrem, els valors de producció són similars als dels anys 70 i 80 però es declaren com a catastròfics (Figura 5). Per tant, la vulnerabilitat agrícola de l'olivera a Cabacés ha augmentat notablement. Tot i l'important reg de suport que es gaudeix actualment en l'explotació d'oliveres, les condicions meteorològiques continuen influint força en la producció d'olives. D'aquí, s'entén que les correlacions mòbils continuïn elevades més enllà de l'any 2000 a les Figures 1 i 2.

En conclusió, les Tmàxs del mes d'abril poden ser un indicatiu fiable per a la previsió productiva d'olives i d'oli, sempre que aquesta no estigui condicionada per altres factors com l'estrès hídric que pot patir l'olivera en el període estival o les fortes glaçades que es poden donar durant l'hivern anterior a la collita.



Map d'isotermes a 850 hPa (1.500 m) sobre Europa i l'Atlàntic Nord el 15 de gener de 1985.

Agraïments

El projecte ACCUA està finançat per l'Obra Social de Caixa Catalunya. Al vicepresident de la comunitat de regants del pantà de Margalef, el Sr. Francisco Prats, per la cessió de dades de producció d'olives i d'oli de la cooperativa agrícola de Cabacés. Al Departament d'Agricultura, Alimentació i Acció Rural per la disponibilitat de dades agrícoles del Priorat.

Referències bibliogràfiques

- Brunet M, Aguilar E, Saladié O, Sigró J, López D. 2001. The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteenth Century Onwards. A: Brunet i López (eds.). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Springer. Berlín, DE, pp. 81-93.
- González-Hidalgo JC, Lopez-Bustins JA, Stepanek P, Martin-Vide J, De Luis M. Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000). *International Journal of Climatology*, en premsa.
- Hurrell JW. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science* 269: 676-679.
- IPCC. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) <http://www.ipcc.ch>
- Martin-Vide J, Lopez-Bustins JA. 2006. The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 26 (11): 1455-1475.
- Millán MM. 2008. Perturbaciones climáticas al ciclo hídrico en la Cuenca Mediterránea Occidental: origen y propagación a escalas regional-europea y global. *Tractat de l'Aigua* 1: 24-33.
- Olcina Cantos J. 2001. Causas de las sequías en España. Aspectos climáticos y geográficos de un fenómeno natural. En: *Gil Olcina A, Morales Gil A. Causas y consecuencias de las sequías en España*, 49-110.
- Richman MB. 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology* 6: 293-335.
- Stepanek, P. 2007. *AnClim – Software for Time Series Analysis*. Dept of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, Brno. 1.47 MB.

El projecte ACCUA (Adaptacions al Canvi Climàtic en l'Ús de l'Aigua) va néixer l'any 2008 amb un doble objectiu: avaluar la vulnerabilitat del territori català davant els principals efectes del canvi global relacionats amb la disponibilitat d'aigua dolça, i determinar les mesures d'adaptació més recomanables per respondre a aquesta vulnerabilitat i minimitzar-ne les conseqüències negatives. Els resultats i les conclusions del projecte es recullen ara en aquest document amb el propòsit de fer-ne la màxima difusió possible entre els gestors del territori i dels recursos naturals, que inclou des de les administracions implicades a escala regional i local fins a les cooperatives agrícoles i els propietaris forestals.



CX Catalunya Caixa
Obra Social